

ISSN: 2220-8674



НАУКОВИЙ ВІСНИК

ТАВРІЙСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО АГРОТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Випуск 14, Том 1
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 1
Issue 14, volume 1

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

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

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. 1. 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**

Szafranec 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 1

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 1

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

Степаненко С. П., Мироненко В. Г., Погорілий С. П. Дослідження факторів пошкодження зерна в процесах сепарації

1

Stepanenko S., Myronenko V., Pogorilyy S. Study of grain damage factors in the processes of separation

Журавель Д. П. Структурний аналіз надійності гідросистем сільськогосподарської техніки при використанні біологічних робочих рідин

2

Zhuravel D. Structural analysis of the reliability of hydraulic systems of agricultural equipment using biological working fluids

Степаненко С. П., Котов Б. І., Мельник В. А., Волик Д. А. Моделювання процесу переміщення зернового матеріалу в робочій зоні сепаратора

3

Stepanenko S., Kotov B., Melnyk V., Volyk D. Modeling the process of grain material movement in the separator's working zone

Кувачов В. П., Дружич В. М., Шевченко С. О., Зеленов К. О. Теоретичні основи руху самохідної машини з робочими органами реактивного типу в системі точного землеробства

4

Kuvachov V., Druzhych V., Shevchenko S., Zelenov K. Theoretical basics of movement of a self-propelled machine with working bodies of the jet type in the precision agriculture system

Степаненко С. П., Кузьмич А. Я., Швидя В. О. Інноваційні оптично-електронні технології швидкого аналізу зерна в галузі післязбиральної обробки

5

Stepanenko S., Kuzmych A., Shvydya V. Innovative optical and electronic technologies of fast grain analysis in the field of post-harvest processing



Скляр О. Г., Скляр Р. В., Болтянський Б. В., Сиротюк С. В., Коробка С. В., Стукалець І. Г. Аналіз методів удосконалення процесу переробки органічних відходів тваринництва у метантенках

Skliar O., Skliar R., Boltianskyi B., Syrotyuk S., Korobka S., Stukalets I. Analysis of methods of improving the process of processing organic animal waste in methane tanks

6

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Мельник О., Шкарапута Р. Аналіз технологій виробництва натуральних барвників з використання вторинної сировини та харчових відходів

7

Melnyk O., Shkaraputa R. Analysis of the production technology of natural bars using secondary raw materials and food waste

Нащанський Д. В., Демидов І. М., Демидова А. О. Дослідження особливостей окиснення жиру в твердому стані

8

Nashchanskyi D., Demidov I., Demydova A. Research of the features of fat oxidation in the solid state

Семко Т. В., Іваніщева О. А., Пахомська О. В., Гаспарян А. Створення «Вінницької» солі шляхом внесення рослинної сировини дикоросів з використанням інноваційного обладнання

9

Semko T., Ivanishcheva O., Pahomska O., Hasparian A. Creation of "Vinnytska" salt by adding wild plant raw material using innovative equipment

Семко Т. В., Пахомська О. В. Кухарський одяг: від історії до сучасності

10

Semko T., Pahomska O. Cook clothing: from history to modern times

Савченко М. Ю., Радчук О. В. Автоматизація технологічного процесу стерилізації консервів

11

Savchenko M., Radchuk O. Automation of the technological process of sterilization of cans



- Савченко М. Ю.** Використання порошку рослинного в напівфабрикатах січених 12
Savchenko M. Use of vegetable powder in cut semi-finished products
- Крижак Л. М., Калініна Г. П.** Пролонгування зберігання пастеризованого молока за додавання екстракту кориці (*cinnamomum burmannii*) 13
Kryzhak L., Kalinina H. Prolonging the storage of pasteurized milk with the addition of cinnamon extract (*cinnamomum burmannii*)
- Дзюндзя О. В.** Дослідження якості сиркових десертів спеціального призначення 14
Dzyundzya O. Research of the quality of special purpose cheese desserts
- Ілляшенко Я. І., Самілик М. М.** Дослідження реологічних властивостей киселів на основі порошку з горобини чорноплідної 15
Iliashenko Y., Samilyk M. Study of the rheological properties of kissels based on black chokeberry powder
- Ярмош Т., Перцевой Ф.** Дослідження ефективності гліцерину для екстрагування барвних речовин з бузини чорної 16
Yarmosh T., Pertsevoi F. Study of the effectiveness of glycerin for the extraction of coloring substances from black elder
- Заморська І. Л., Смілянець О. В.** Фізико-хімічні показники якості частково осмотично дегідратованих заморожених ягід суниці зниженої енергетичної цінності 17
Zamorska I., Smilyanets O. Physical and chemical parameters of quality of partially osmotically dehydrated frozen strawberries with reduced energy value
- Горач О. О.** Шляхи підвищення харчової та біологічної цінності хлібобулочних виробів 18
Gorach O. Ways of increase in food and biological values of bakery products



Губа С. О., Попова А. О., Болгова Н. В., Тищенко В. І., Губа О. О. Розробка технології і рецептури напою кавового підвищеної харчової цінності

19

Huba S., Popova A., Bolgova N., Tischenko V., Huba O. Development of the technology and recipe of a coffee beverage with increased nutritional value

Болгова Н. В. Аналіз технології виробництва безлактозної ряжанки

20

Bolhova N. Analysis of lactose-free ryazhanka production technology

Ярмош Т., Перцевой Ф., Маренкова Т. Дослідження ефективності сорбіту та ксиліту для екстрагування барвних речовин з бузини чорної

21

Yarmosh T., Pertsevoi F., Marenkova T. Study of the efficiency of sorbitum and xylite for the extraction of coloring substances from black elder

Іванова І. Є., Кюрчева Л. М., Кривонос І. А., Філенко М. О. Застосування методу багатокритеріальної оптимізації для визначення сортопридатності плодової сировини до виробництва цукатів

22

Ivanova I., Kiurcheva L., Kryvonos I., Filenko M. The multicriteria optimisation method application for determining the suitability of fruit raw materials for candied fruit production

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

Юрченко О. Ю., Барсукова Г. В., Романенко М. О. Функціональні особливості інструменту для підготовки провідників електричного струму при монтажі електрообладнання та ремонті електропристроїв

23

Yurchenko O., Barsukova H., Romanenko M. Functional individual tool for preparing electrical tool wires during installation of electrical equipment and repair of electrical appliances

Сілі І. І., Азархов О. Ю., Єфременко Б. В. Роль електричних полів у комунікації рослин і запилювачів

24

Sili I., Azarkhov O., Yefremenko B. The role of electric fields in plant-pollinator communication



Бабич М. І., Боярчук В. М., Коробка С. В., Пташник В. В.
Підвищення рівня енергетичної безпеки за рахунок впровадження комплексних проєктів з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики

25

Babych M., Boyarchuk V., Korobka S., Ptashnyk V. Increasing the level of energy security for the implementation of complex projects from renewable energy sources and hydroenergy

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

Волошин В. С., Азархов О. Ю. Людина чи машина: інтелект та міцність, перспективи та конкуренція

26

Voloshyn V., Azarkhov A. Man or machine: intelligence and power, perspectives and competition



ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-1**УДК 631.56:621.92**

С. П. Степаненко, д.т.н.,

ORCID: 0000-0002-8331-4632

В. Г. Мироненко, д.т.н.,

ORCID: 0000-0002-1227-2471

С. П. Погорілий, д.т.н.,

ORCID: 0000-0002-9701-2678

*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України*

e-mail: stepanenko_s@ukr.net

**ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ПОШКОДЖЕННЯ ЗЕРНА
В ПРОЦЕСАХ СЕПАРАЦІЇ**

Анотація. Створено структурну модель процесу пошкодження зернівки в процесі сепарації і розроблено критеріальне рівняння, яке включає шість показників. Отримані регресійні рівняння дозволяють оцінити рівень пошкодження залежно від впливових факторів, таких як сила впливу, імпульс сили, модуль пружності, густина і жорсткість оболонки зернівки. Визначено, що найбільший вплив на пошкодження надає сила впливу (залежність кубічного типу), імпульс сили (обернена квадратична залежність), модуль пружності та жорсткість (логарифмічна залежність), а густина зернівки має лінійну залежність. Отримана залежність підходить для прогнозування мікротравмування та пошкодження зернівки, якщо відомі п'ять параметрів, що описують фізико-механічні властивості даної культури.

Розглянемо фізичний сенс π -критеріїв на прикладі процесу пошкодження зерна в процесах сепарації при силовому впливі. Встановлено, що модуль пружності характеризує здатність зернівки до еластичної деформації під дією сили. Основний вплив на ушкодження зернівки має сила впливу, і цей вплив має кубічну залежність. Чим більше сила, щільність зернівки і менше його еластичні властивості, тим інтенсивніше буде його ушкодження. Встановлено також, що другий критерій π_2 включає відношення між модулем пружності та силою впливу на зернівку. Цей показник характеризує вплив молекулярних сил зв'язку під дією сили. Він відображає здатність зернівки до еластичної деформації при збереженні внутрішніх атомних зв'язків в межах еластичної деформації. Отже, якщо $E > F$, то в зернівці відбувається процес релаксації: система повертається до початкового стану до прикладання сили, відновлюються атомні зв'язки, зберігається структура зернівки, мікротріщини загоюються. За умови ж коли $E < F$, то атомні зв'язки руйнуються, починається розвиток тріщин, деформація переходить з еластичної в пластичну, необоротну.

Ключові слова: моделювання, пошкодження, зерно, сепарація, критеріальне рівняння, теорія розмірностей, зерновий матеріал, робочий орган.



Постановка проблеми. Пошкодження зерна є однією з основних причин погіршення його посівних якостей у рік збирання, що також призводить до зниження продуктивності рослин у наступних поколіннях. Пошкодження зерна виникає через механічну дію робочих органів зернозбиральної техніки та обладнання для післязбиральної обробки та переробки, транспортування тощо. Наукові дослідження свідчать, що в середньому 25% зерна пошкоджується під час збору комбайном, а до 50% - при навантаженні, розвантаженні, очищенні, сушінні та транспортуванні. Тому проблема зменшення механічних втрат зерна є актуальною і своєчасною [1, 2, 3].

Процес пошкодження зерна обумовлений ударним зіткненням із поверхнями робочих органів та тертям зерна між собою і контактними поверхнями. Механічні травми поділяються на три категорії: бите зерно, зерно з макротравмами та зерно з мікротравмами. Слід відмітити, що переважно зерно пошкоджується під час післязбиральної доробки, зокрема під час сепарації та сушіння, але найбільше якість зерна знижується під час транспортування в зерносховищах. В реальності збиральна та післязбиральна обробка зберігають в ідеальному стані лише близько 20-25% насіння, тоді як решта зазнає різних пошкоджень, тріщин або деформацій. Значна кількість технологічних операцій після збирання створює різний ступінь механічного пошкодження зерна [4, 5, 10-16].

Для зменшення рівня пошкодження зерна під час післязбиральної обробки рекомендується застосовувати такі заходи: сушіння при м'яких температурних режимах, обмолот з урахуванням вологості зерна, менш інтенсивне сепарування та зменшення кількості переміщень зерна норіями та конвеєрами. Існує два підходи до вирішення цієї проблеми: перший - скорочення кількості обладнання в транспортно-технологічних лініях для обробки зерна, і другий - мінімізація травмування зерна під час виконання залишених операцій. Перший підхід передбачає розробку багатофункціональних машин з можливістю регулювання режимів роботи, а другий - м'який вплив на зерно виконавчих механізмів [3, 4, 5].

Аналіз останніх досліджень. Дослідження робочих органів під час післязбиральної обробки зернового вороху та підготовки насіння, а також теоретичне обґрунтування і моделювання процесів сепарації в залежності від біологічного стану зернової маси, її компонентів, стану вологості та впливу на подальший ріст і продуктивність рослин розглядаються у наукових працях відомих авторів [1, 6, 7, 8]. За даними Інституту зернових культур НААН України, при проходженні зернової суміші через трієри та насіннепроводи, схожість насіння знижується на 2-3%, а початкова сила росту зменшується на 6-12%



навіть після одного циклу очищення (сепарації). Значний вплив на пошкодження зерна має зношення робочих поверхонь через тертя з механізмами та зерновими потоками. У наукових роботах [4-6, 9, 11-13] значна увага приділяється вивченню взаємодії елементів механізмів із зерновою масою та визначенню раціональних параметрів і режимів роботи для зменшення пошкоджень зерна.

Формулювання мети статті. Дослідити фактори пошкодження зерна в процесах сепарації зернового матеріалу та визначити рівень травмування зерна на різних етапах післязбиральної обробки.

Матеріали, методи та об'єкти дослідження. Методика аналітичних досліджень, що ґрунтується на оцінці пошкодження зерна обладнанням, яке використовується в технологічних процесах післязбиральної обробки зернових культур. Застосування теорії розмірностей для дослідження факторів пошкодження зерна в процесах сепарації дасть змогу побудувати математичну модель процесу пошкодження зерна.

Основна частина. На пошкодження зерна, яке відбувається через взаємодію з поверхнями тертя зерноочисних машин (зовнішні фактори), а також через морфологічні, анатомічні та фізико-механічні характеристики зерна (внутрішні фактори), впливають численні параметри. Дані параметри можуть бути як незалежними, так і взаємозалежними, і можуть змінюватися в широкому діапазоні.

Для оцінки ступеня пошкодження зерна слід дослідити структурну модель цього процесу рис. 1.

У цю модель включають морфологічні, анатомічні та фізико-механічні характеристики зерна, а також параметри сили впливу і особливості взаємодії зерна з контактними поверхнями. Комплекс параметрів може розширюватися і змінюватися з удосконаленням розуміння фізики процесу травмування і переосмислення цього явища в процесах сепарації. На даному етапі, на наш погляд, найважливішими є 15 параметрів, з яких 3 є безрозмірними. Оскільки силовий вплив розглядається для окремої зернівки (або точніше, для її поверхні тертя), параметри зернового потоку не враховуються в моделі. Крім того, система вважається автодостатньою щодо часу, умов навколишнього середовища і інших зовнішніх факторів.

У випадку, якщо сила впливу робочих органів на зерно мінімальна, основними факторами для прогнозування пошкодження будуть не параметри силового впливу, а морфологічні і фізико-механічні властивості зерна. Тобто в кожній конкретній ситуації набір параметрів може варіюватися, але в межах сучасного рівня знань явище не виходить за рамки представленої схеми системи.

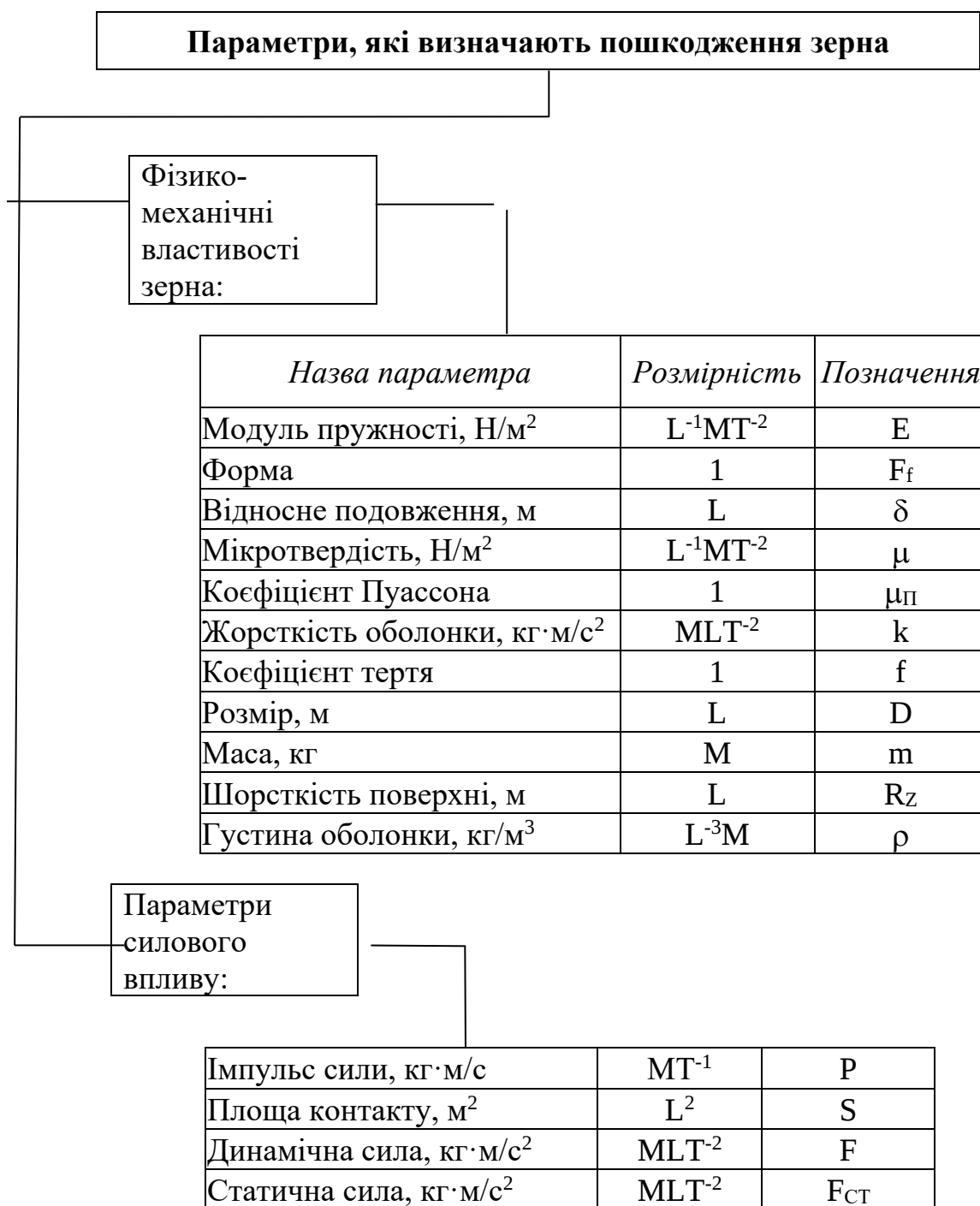


Рис. 1. Структурна модель пошкодження зерна

У наукових джерелах є підтвердження того, що морфологічні та анатомічні характеристики зерна впливають на його фізико-механічні властивості [2, 3, 7, 8]. Наприклад, густина зерна залежить переважно від хімічного складу та пропорцій органічних компонентів. Різні органічні речовини, що містяться в зерні, мають значні відмінності в густині. Густина зерна також змінюється в залежності від його



зрілості: більш зрілі зерна мають вищу густину. Зі зростанням зрілості зерна густина може істотно змінюватися через зміну хімічного складу і зменшення вмісту вологи.

Вологість є критичним фактором, який визначає багато фізико-механічних характеристик зерна. Відомо, що при зсувних, стискальних і розривних навантаженнях міцність зерна зменшується із підвищенням вологості.

Температура також має вплив на фізико-механічні властивості зерна. В межах температурного діапазону від $+30^{\circ}$ до -30° міцність зерна знижується з пониженням температури, що робить його більш крихким [10-15].

Параметри, що включені в структурну модель, описують зерно за масою і розміром (маса, діаметр, вага), пружними властивостями (модуль пружності, коефіцієнт Пуассона), а також механічними властивостями оболонки (жорсткість, коефіцієнт тертя, товщина оболонки).

Згідно із заданою структурною моделлю, пошкодження зерна під впливом силових навантажень від робочих органів можна виразити наступним чином:

$$L = f(F, P, E, \rho, k, R_z, S, D, m), \quad (1)$$

Пошкодження зерна є складним явищем. Аналіз і експериментальні дослідження продемонстрували [8-10, 16-25], що рівень травмування (пошкодження) прямо корелює з розмірами мікротріщин. Тому для характеристики пошкодження використовується розмірність « L ».

Процес пошкодження зерна під дією силового навантаження є функцією дев'яти основних розмірних параметрів. Визначивши розмірності всіх параметрів, можна встановити кількість основних розмірностей: маса (M), довжина (L), час (T).

Застосовуючи теорію розмірностей [25-29], створимо математичну модель процесу пошкодження зерна. У формі критеріального рівняння можна записати наступне:

$$F(\pi_1; \pi_2; \pi_3; \pi_4; \pi_5; \pi_6) = 0, \quad (2)$$

Щоб утворити π -критерії, скористаємося теорією розмірностей. Це дозволить звести всі параметри до безрозмірних комбінацій, що спростить аналіз і моделювання процесу.

$$\pi_1 = F^{\varepsilon_{11}} P^{\varepsilon_{12}} E^{\varepsilon_{13}} \rho, \quad (3)$$

$$\pi_2 = F^{\varepsilon_{21}} P^{\varepsilon_{22}} E^{\varepsilon_{23}} k, \quad (4)$$

$$\pi_3 = F^{\varepsilon_{31}} P^{\varepsilon_{32}} E^{\varepsilon_{33}} R_z, \quad (5)$$



$$\pi_4 = F^{\varepsilon_{41}} P^{\varepsilon_{42}} E^{\varepsilon_{43}} S, \quad (6)$$

$$\pi_5 = F^{\varepsilon_{51}} P^{\varepsilon_{52}} E^{\varepsilon_{53}} D, \quad (7)$$

$$\pi_6 = F^{\varepsilon_{61}} P^{\varepsilon_{62}} E^{\varepsilon_{63}} m, \quad (8)$$

Запишемо рівняння (3) в розмірному вигляді:

$$[M^0 T^0 L^0] = \left[\frac{ML}{T^2} \right]^{\varepsilon_{11}} \left[\frac{ML}{T} \right]^{\varepsilon_{12}} \left[\frac{M}{LT^2} \right]^{\varepsilon_{13}} \left[\frac{M}{L^3} \right], \quad (9)$$

Перетворимо рівняння (9) в наступну залежність:

$$[M^0 T^0 L^0] = M^{\varepsilon_{11} + \varepsilon_{12} + \varepsilon_{13} + 1} \times L^{\varepsilon_{11} + \varepsilon_{12} - \varepsilon_{13} - 3} \times T^{-2\varepsilon_{11} - \varepsilon_{12} - 2\varepsilon_{13}}, \quad (10)$$

Визначемо показники степенів із наступної системи рівнянь:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11} + \varepsilon_{12} + \varepsilon_{13} + 1 &= 0 \\ \varepsilon_{11} + \varepsilon_{12} - \varepsilon_{13} - 3 &= 0, \\ -2\varepsilon_{11} - \varepsilon_{12} - 2\varepsilon_{13} &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Вирішивши отриману систему рівнянь одержимо значення $\varepsilon_{11}, \varepsilon_{12}, \varepsilon_{13}$, які відповідно дорівнюють $\varepsilon_{11} = 3, \varepsilon_{12} = -2, \varepsilon_{13} = -2$.

Тоді перший π критерій запишемо, як:

$$\pi_1 = F^3 P^{-2} E^{-2} \rho, \quad (12)$$

За аналогією визначимо значення інших π критеріїв в такій формі:

$$\pi_2 = F^{-1} P^0 E^0 k, \quad (13)$$

$$\pi_3 = F^{-\frac{1}{2}} E^{\frac{1}{2}} R_z, \quad (14)$$

$$\pi_4 = F^{-1} E S, \quad (15)$$

$$\pi_5 = D \sqrt{\frac{E}{F}}, \quad (16)$$

$$\pi_6 = F^{\frac{3}{2}} P^{-2} E^{-\frac{1}{2}} m, \quad (17)$$

Отже, рівняння процесу пошкодження зерна в безрозмірній формі, можна навести в наступному вигляді:

$$L = f \left(\frac{F^3 \rho}{P^2 E^2}, \frac{k}{F}, R_z \sqrt{\frac{E}{F}}, \frac{ES}{F}, D \sqrt{\frac{E}{F}}, F^{\frac{3}{2}} \frac{m}{P^2 \sqrt{E}} \right), \quad (18)$$

де L – пошкодження зернівки при силовому впливі.

Фізичний сенс π -критеріїв полягає в тому, що вони є безрозмірними комбінаціями змінних, які допомагають спростити аналіз складних процесів і явищ, пов'язуючи їх з ключовими параметрами. Вони дозволяють досліджувати вплив різних факторів на процес, не залежачи від одиниць вимірювання, що робить їх корисними для узагальнення результатів і виявлення основних закономірностей.

Розглянемо фізичний сенс π_1 -критерія на прикладі процесу пошкодження зерна при силовому впливі залежність (12). Отже, модуль пружності (E) характеризує здатність зернівки до еластичної деформації під дією сили. Це показник напруження в зернівці, викликаного прикладеною силою, відносно площі її контакту. Основний вплив на ушкодження зернівки має сила впливу, і цей вплив має кубічну залежність. Чим більше сила, щільність зернівки і менше його еластичні властивості, тим інтенсивніше буде його ушкодження.

Другий критерій π_2 визначається з рівняння (13) k - це жорсткість оболонки зернівки, E - модуль пружності, а S - площа контакту. Жорсткість включає відношення між модулем пружності та силою впливу на зернівку. Жорсткість можна визначити як добуток модуля пружності E (наприклад, при стисненні) на геометричну характеристику перерізу зернівки, тобто площу впливу S .

Цей показник характеризує вплив молекулярних сил зв'язку під дією сили. Він відображає здатність зернівки до еластичної деформації при збереженні внутрішніх атомних зв'язків в межах еластичної деформації. Якщо $E > F$, то в зернівці відбувається процес релаксації: система повертається до початкового стану до прикладання сили, відновлюються атомні зв'язки, зберігається структура зернівки, мікротріщини загоюються. Якщо ж $E < F$, то атомні зв'язки руйнуються, починається розвиток тріщин, деформація переходить з еластичної в пластичну, необоротну.

Другий критерій описує жорсткість оболонки, тобто її здатність протистояти деформаціям при малих одномірних деформаціях в межах еластичної області.

Третій критерій π_3 визначається з рівняння (14), де R_z - висота нерівностей профілю при контакті двох тіл під дією сили. Цей критерій описує ймовірність виникнення адгезійних сил при формуванні кожної окремої ділянки контакту на геометричній площі дотику між двома тілами.

Четвертий критерій π_4 подібний до другого π_2 .

П'ятий критерій π_5 визначається з рівняння (16), де D - еквівалентний розмір зернівки. Цей критерій вказує на те, що чим більший еквівалентний розмір зернівки, тим більше ймовірність його пошкодження.



Шостий критерій π_6 є схожим на перший π_1 . П'ятий та шостий критерії мають менший вплив на ступінь пошкодження зернівки.

У таблиці 1 представлені дані про L , які були отримані експериментальним шляхом, а також фізико-механічні характеристики зернівки, що використовуються в рівнянні (1). Значення E і R_z у таблиці 1 взяті з наукових публікацій [8, 9, 12, 13, 16-20], в той час як інші параметри були визначені шляхом вимірювань.

Слід відмітити наступне, для того щоб модель (1) коректно відображала основні характеристики досліджуваного процесу, кожен фактор, включений у модель, має демонструвати достатню варіативність у контексті впливу на L .

Зазвичай для визначення необхідної кількості спостережень застосовують метод зменшення числа параметрів шляхом виключення менш значущих з них.

На основі аналізу отриманих даних можна з певною впевненістю стверджувати, що найбільш значущі фактори, впорядковані за їхньою важливістю, наступні: сила впливу F , імпульс сили P , модуль пружності E , щільність ρ та жорсткість оболонки зернятка k (табл. 1).

Таблиця 1

Значення факторів, прийнятих для визначення π -критеріїв

Культура	L , 10^{-3} м	F , $\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2$	P , $\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2$	E , 10^5 $\text{кг} / \text{м}^2$	ρ , $\text{кг} / \text{м}^3$	k , $\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2$	R_z , 10^{-4} м	S , 10^{-6} м^2	D , 10^{-3} м	m , 10^{-3} кг
Пшениця	1,4	5,9	0,5	30	1092	3,06	40	1,02	$6,7 \times 3,4 \times 2,7$	0,036
Горох	1,7	6,4	0,42	60	1150	3,64	35	0,5	6,8	0,245
Тритикале	3,2	7,8	0,35	28	1200	3,97	40	1,3	$8 \times 1,9 \times 1,7$	0,045
Кукурудза	3,7	8,25	0,3	50	1230	4,45	45	0,89	$11,5 \times 8 \times 5,3$	0,245
Жито	4,2	8,5	0,29	21	1325	4,5	25	1,89	$8 \times 2,6 \times 2,5$	0,031

Щоб обчислити шість коефіцієнтів регресійної моделі, включаючи константу, згідно з методами детермінованої математики, необхідно мати вісім рівнянь. Проте, в наявності є лише шість спостережень.

Ми застосували метод для отримання нелінійного рівняння регресії, використовуючи обмежену кількість спостережень [1, 9, 27-29]. На першому етапі проводився пошук адекватного рівняння регресії величини L в залежності від кожного окремого параметра



(F , P , E , ρ , k). Для цього були розглянуті різні типи залежностей, включаючи лінійну, степеневу, експоненційну, обернену, логарифмічну та інші. Для кожної залежності та кожної змінної якість моделі оцінювалася за критерієм Фішера. Найкращі результати для параметрів F і P були отримані з степеневою моделлю, для E і k - з логарифмічною, а для ρ - з лінійною. В результаті були отримані рівняння регресії для залежності величини L від окремих параметрів.

$$L(F) = 0,0054F^{3,11}, \quad (19)$$

$$L(P) = 0,341P^{-2,06}, \quad (20)$$

$$L(E) = 48,12 - 10,809 \ln(E), \quad (21)$$

$$L(\rho) = -13,14 + 0,013\rho, \quad (22)$$

$$L(k) = -1,14 + 2,936 \ln(k), \quad (23)$$

Сформуємо математичну модель процесу як лінійну комбінацію знайдених функцій (19)-(23).

З використанням даних значень F , P , E , ρ , k (табл. 1) спочатку обчислюємо прогнозовані значення параметра L (табл. 2).

Таблиця 2

Прогнозовані значення параметра L

Культура	$L(F)$	$L(P)$	$L(E)$	$L(\rho)$	$L(k)$
Пшениця	1,277	1,328	3,033	1,056	2,140
Горох	1,632	1,908	2,242	1,181	2,649
Тритикале	2,947	2,788	3,111	2,462	2,904
Кукурудза	3,514	3,842	2,450	2,851	3,239
Жито	3,846	4,122	3,439	4,085	3,272

Наступним кроком є використання даних з (табл. 2), для цього складаємо систему лінійних рівнянь для визначення коефіцієнтів лінійної комбінації знайдених функцій так, щоб результати експериментів з (табл. 1) відповідали отриманим значенням моделі. Рішення цієї системи дає наступні результати (табл. 3).

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів лінійних рівнянь

C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
2,151	-1,355	-1,751	0,246	2,853

Шукане рівняння регресії набуде наступного вигляду:

$$L = -7,374 + 0,013F^{3,11} - 0,425P^{-2,06} + 1,996 \ln(E) + 0,003\rho + 8,376 \ln(k), \quad (24)$$

Для перевірки адекватності нами була обрана культура пшениця, для якої $F = 5,9$; $P = 0,5$; $E = 30$; $\rho = 1092$; $k = 3,06$. Отримане за рівнянням (24) значення $L = 1,47$ досить добре узгоджується з результатами експерименту.

Висновки. Розроблена структурна схема процесу пошкодження зернівки та сформульовано критеріальне рівняння, яке включає шість критеріїв.

Сформульовані рівняння регресії для визначення ступеня пошкодження в залежності від таких параметрів: сила впливу, імпульс сили, модуль пружності, густина і жорсткість оболонки зернівки.

Визначено, що найбільший вплив на пошкодження має сила впливу (залежність кубічного типу), імпульс сили (обернена квадратична залежність), модуль пружності та жорсткість (логарифмічна залежність), густина зернівки (лінійна залежність). Рівняння (24) можна використовувати для прогнозування мікротравмування, пошкодження зернівки, якщо відомі п'ять параметрів, що описують фізико-механічні властивості даної культури.

Список використаних джерел

1. Войтюк Д. Г., Гаврилук Г. С. Сільськогосподарські машини. Київ: Каравелла, 2008. С. 317–407.
2. Грабар І. Г., Дерев'янка Д. А., Герук С. М. Вплив чинників післязбиральної обробки зерна на якість насінневого матеріалу *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2010. Вип. 40, ч. І. С. 340–349.
3. Дерев'янка Д. А. Травмування та якість насіння на різних стадіях технологічних процесів. *Інженерія природокористування*. 2014. № 1(1). С. 114–123.
4. Дерев'янка Д. А., Тарасенко О. П., Оробінський В. І. Вплив травмування на якість насіння зернових культур : монографія. Житомир: Нілан-ЛТД, 2012. 440 с.
5. Журнал «Агроном». URL: <http://www.agronom.com.ua> (дата звернення 23.07. 2024).
6. Кісь-Коркіщенко Л. В. Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів завантаження ковшів зернових норій. Дис. ... доктора філософії: 133. Харків, 2021. 182 с.
7. Опалко В., Шатров Р. Механічне травмування зерна після збирання. *Agroexpert*. 2017. № 2.

8. Скрипник І. О., Пісарькова І. О., Петренко М. М. Механічне травмування зерна. *Конструювання виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2018. Вип.48. С. 143–153. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2018.48.143-153>.
9. Тищенко Л. Н., Ольшанский В. П., Ольшанский С. В. Виброрешетная сепарация зерновых смесей. Харків: МД, 2011. 280 с.
10. Харченко, Є. І. Шаран А. В., Янюк Т. І. Інноваційні технології галузі: Конспект лекцій для студ. спец. 7.05170101, 8.05170101 «Технології зберігання і переробки зерна» денної та заочної форм навчання. Київ: НУХТ, 2014. 94 с.
11. Шаповаленко О. І., Євтушенко О. О., Кожевникова М. І., Шпак О. О. Дослідження ступеню травмування зерна кукурудзи у виробничих умовах. *Хранение и переработка зерна*. 2015. № 2. С. 31–33.
12. Shaaya E., Kostjukovski M., Eilberg J., Sukprakarn C. Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored-product insects. *J. Stored Prod. Res.* 1997. Vol. 33. P. 7–15. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(96\)00032-X](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(96)00032-X).
13. MAREČEK J. Conditions for maintaining the quality of the grain at harvest. URL: <http://www.agroporadenstvo.sk> RIGO.
14. Adamchuk V., Bulgakov V., Gadzalo I. [et al.]. Theoretical study of vibrocentrifugal separation of grain mixtures on a sieveless seed-cleaning machine. *Rural Sustainability Research*. 2021. Vol. 46(341). P. 116-124. <https://doi.org/10.2478/plua-2021-0023>.
15. Bala B. K., Haque M. A., Hossain M. A., Majumdar S. Post Harvest Loss and Technical Efficiency of Rice, Wheat and Maize Production System: Assessment and Measures for Strengthening Food Security. Bangladesh Agricultural University; Mymensingh, Bangladesh: 2010.
16. Baoua I., Amadou L., Lowenberg-DeBoer J., Murdock L. Side by side comparison of GrainPro and PICS bags for postharvest preservation of cowpea grain in Niger. *J. Stored Prod. Res.* 2013. Vol. 54. P. 13–16. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2013.03.003>.
17. Ben D. C., van Liem P., Dao N. T., Gummert M., Rickman J. F. Effect of Hermetic Storage in the Super Bag on Seed Quality and Milled Rice Quality of Different Varieties in Bac Lieu, Vietnam. *Int. Rice Res. Notes*. 2009. <https://doi.org/10.3860/irrn.v31i2.1138>.
18. De Groote H., Kimenju S. C., Likhayo P., Kanampiu F., Tefera T., Hellin J. Effectiveness of hermetic systems in controlling maize storage pests in Kenya. *J. Stored Prod. Res.* 2013. Vol. 53. P. 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2013.01.001>.
19. Kimanya M. E., Meulenaer B., Camp J., Baert K., Kolsteren P. Strategies to reduce exposure of fumonisins from complementary foods in



rural Tanzania. *Matern. Child Nutr.* 2012. Vol. 8. P. 503–511. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8709.2011.00337.x>.

20. Kitinoja L. Innovative small-scale postharvest technologies for reducing losses in horticultural crops. *Ethiop. J. Appl. Sci. Technol.* 2013. Vol. 1. P. 9–15.

21. Kotov B., Stepanenko S., Tsurkan O. [et al.]. Fractioning of grain materials in the vertical ring air channel during electric field imposition. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2023. Vol. 99(1). P. 100-104. <https://doi.org/10.15199/48.2023.01.19>.

22. Mykhailov Ye., Golebiewski J., Kiurchev S., Hutsol T., Kolodii O., Nurek T., Glowacki Sz., Zadosna N., Verkholtantseva V., Palianychka N., Kucher O. Economic and technical efficiency of sunflower seed processing. Monograph. – Warszawa: 2020. 158 c. <https://doi.org/10.22630/SGGW.WE.9788375839340>.

23. Njoroge A., Affognon H., Mutungi C., Manono J., Lamuka P., Murdock L. Triple bag hermetic storage delivers a lethal punch to *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) in stored maize. *J. Stored Prod. Res.* 2014. Vol. 58. P. 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.02.005>.

24. Shvidia V., Stepanenko S., Kotov B. [et al.]. Influence of vacuum on drying of seeds of grain crops. In: Bulletin of the Karaganda University. *Physics series*. 2022. Vol. 3(107). P. 90-98. <https://doi.org/10.31489/2022PH3/90-98>.

25. Stepanenko S., Kotov B., Kuzmych A. [et al.]. To the theory of grain motion in an uneven air flow in a vertical pneumatic separation channel with an annular cross section. *Processes*. 2022. Vol. 10(10). P. 1929. <https://doi.org/10.3390/pr10101929>.

26. Stepanenko S., Kotov B., Spirin A. [et al.]. Scientific foundations of the movement of components of grain material with an artificially formed distribution of air velocity. In: Bulletin of the Karaganda University. *Physics series*. 2022. Vol. 1(105). P. 43–57. <https://doi.org/10.31489/2022PH1/43-57>.

27. Suleiman R. A., Kurt R. A. Current maize production, postharvest losses and the risk of mycotoxins contamination in Tanzania; Proceedings of the American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting; New Orleans, LA, USA. 26–29 July 2015.

28. Tefera T., Kanampiu F., de Groote H., Hellin J., Mugo S., Kimenju S., Beyene Y., Boddupalli P.M., Shiferaw B., Banziger M. The metal silo: An effective grain storage technology for reducing post-harvest insect and pathogen losses in maize while improving smallholder farmers' food security in developing countries. *Crop Prot.* 2011. Vol. 30. P. 40–245. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.11.015>.



29. Vales M., Rao C. R., Sudini H., Patil S., Murdock L. Effective and economic storage of pigeonpea seed in triple layer plastic bags. *J. Stored Prod. Res.* 2014. Vol. 58. P. 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.01.004>.

Стаття надійшла до редакції 01.08.2024 р.

S. Stepanenko, V. Myronenko, S. Pogorilyy
Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production, Ukraine

STUDY OF GRAIN DAMAGE FACTORS IN THE PROCESSES OF SEPARATION

Summary

A structural model of the grain damage process during separation has been created, and a criterial equation that includes six indicators has been developed. The obtained regression equations allow assessing the damage level based on influential parameters such as impact force, force impulse, modulus of elasticity, density, and grain hull rigidity. It was determined that the greatest influence on damage is exerted by impact force (cubic dependency), force impulse (inverse quadratic dependency), modulus of elasticity and rigidity (logarithmic dependency), and grain density (linear dependency). The obtained relationship is suitable for predicting micro-damage and grain injury if five parameters describing the physico-mechanical properties of the crop are known. Let's consider the physical meaning of the π -criteria using the example of grain damage during separation under force impact. It has been established that the modulus of elasticity characterizes the grain's ability to elastically deform under force. The primary influence on grain damage is the impact force, which has a cubic dependency. The greater the force and grain density and the lower its elastic properties, the more intense the damage will be. It was also determined that the second criterion, π , includes the ratio between the modulus of elasticity and the impact force on the grain. This indicator characterizes the effect of molecular bonding forces under force impact. It reflects the grain's ability to elastically deform while maintaining internal atomic bonds within the limits of elastic deformation. Therefore, if $E > F$, relaxation occurs in the grain: the system returns to its initial state before the force application, atomic bonds are restored, the grain structure is preserved, and microcracks heal. Conversely, when $E < F$, atomic bonds break down, cracks begin to develop, and deformation transitions from elastic to plastic, becoming irreversible.

It should be noted that for model to accurately reflect the main characteristics of the studied process, each factor included in the model must demonstrate sufficient variability in the context of its impact on L.

Key words: modeling, damage, grain, separation, criterial equation, dimensional analysis, grain material, working body.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-2

УДК 631.3–192:662.63

Д. П. Журавель, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-6100-895X

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua, тел.: +380968782453

СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ГІДРОСИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОЛОГІЧНИХ РОБОЧИХ РІДИН

Анотація. в роботі обґрунтовано модель надійності, що дозволяє за статистичними характеристиками напрацювання на відмову їх елементів отримувати нормовані в технічних умовах усереднені значення часу на виконання технологічних операцій з технічного обслуговування та ремонту гідравлічних систем сільськогосподарської техніки за допомогою коефіцієнтів готовності К_г та технічного використання К_{т.в}. В результаті проведених досліджень встановлено, що коефіцієнт готовності для гідравлічної системи: на мінеральній оливі – 0,816; на біоливі – 0,791; на сумішевій оливі з покращеними показниками – 0,864, а коефіцієнт технічного використання: на мінеральній оливі – 0,632; на біоливі – 0,583; на сумішевій оливі з покращеними показниками – 0,728. Таким чином використання сумішевих робочих рідин з покращеними показниками дозволить підвищити показники коефіцієнтів готовності і технічного використання.

Ключові слова: біоолива, моделювання надійності, гідравлічна система, сільськогосподарська техніка, коефіцієнт готовності, відмова, коефіцієнт технічного використання.

Постановка проблеми. Гідравлічні системи широко використовуються в різних галузях сільського господарства, передають енергію, виконують функції охолодження та мастила, захисту деталей від корозії, а також виносять з гідроагрегатів продукти зносу [1-5]. У зв'язку з цим працездатність гідроприводів, їх надійність та довговічність значною мірою залежить від типу рідини, її в'язкісно-температурних характеристик, протизадирних та протизносних властивостей, а також стану у процесі експлуатації. Гідросистема сільськогосподарських машин є складною гідромеханічною системою, що має високу функціональну значимість для забезпечення працездатності машини загалом. Незважаючи на наявні методи діагностика та засоби технічного обслуговування гідравлічних систем, на практиці цьому питанню приділяється недостатньо уваги що призводить до зниження експлуатаційних показників як гідравлічних систем, так і техніки загалом. Потрапляння



мінеральних олив в ґрунт призводить до екологічних проблем, що впливає на зниження її родючості. Поліпшення подібної ситуації можливе при використанні рослинних олив, як альтернативних робочих рідин для гідравлічних систем сільськогосподарської техніки.

Аналіз останніх досліджень. Основна функція робочих рідин для гідравлічних систем, це передача механічної енергії від її джерела до місця використання із забезпеченням зміни величини або спрямування доданої сили [6-10]. Гідравлічний привод не може діяти без рідкого робочого середовища, що є необхідним елементом будь-якої гідравлічної системи. У постійному вдосконаленні конструкцій гідравлічних приводів відзначаються такі тенденції: підвищення робочих тисків і пов'язане з цим розширення верхніх температурних меж експлуатації робочих рідин; скорочення загальної маси приводу або збільшення відношення потужності, що передається, до маси, що тягне за собою більш інтенсивну експлуатацію робочої рідини; зменшення робочих зазорів між деталями робочого органу, вихідної та приймальної порожнин гідравлічної системи, що посилює вимоги до чистоти робочих рідин (або її фільтрування за наявності фільтрів у гідравлічних системах). З метою задоволення вимог, продиктованих зазначеними тенденціями розвитку гідравлічних приводів, сучасні робочі рідини для них повинні: мати оптимальний рівень в'язкості та хороші в'язкісно-температурні характеристики в широкому діапазоні температур, тобто високий індекс в'язкості, або пологу в'язкісно-температурну криву; відрізнятися високим антиокислювальним потенціалом, а також термічною та хімічною стабільністю, що забезпечують тривалу без змінну роботу рідини в гідравлічній системі; захищати деталі гідравлічного приводу від корозії; мати хорошу фільтрацію; мати необхідні деаеруючі, деемульгуючі та антипінні властивості; характеризуватись високою мастильною здатністю, необхідним протизадирним та протизносним потенціалом; бути сумісними з гумами, еластомерами та іншими ущільнювальними матеріалами [11-16]. В останні роки намічається тенденція використання в технічних цілях рослинних олив, що характеризуються високою біорозкладальністю (ріпакової, соєвої, соняшnikової, арахісової, пальмової) та їх похідних. Пріоритетним з погляду використання у сільськогосподарській техніці є ріпакова олива, трибологічні та фізико-хімічні властивості якої здатні забезпечити функції робочої рідини гідравлічної системи без втрати її експлуатаційних показників [17-19].

Однак необхідно відзначити недостатність також інформації про використання рослинних олив для сільськогосподарської техніки. Відсутній науковообґрунтований склад робочої рідини для гідросистем сільськогосподарської техніки на основі ріпакової оливи,



мало досліджень з вивчення впливу подібних олив на надійнісні показники гідравлічних систем. Тому розробка альтернативних мастильних матеріалів та робочих рідин на основі рослинної сировини з покращеними трибологічними властивостями є актуальною науково-технічною проблемою.

Формулювання цілей статті. Метою статті є обґрунтування впливу різних видів робочих рідин на надійність гідравлічних систем сільськогосподарської техніки.

Основна частина. Гідравлічну систему (ГС) можна представити у вигляді декількох підсистем. До таких підсистем, які виконують самостійні функції, відносяться: насос, гідролінії, гідроциліндр, розподільник і ущільнюючі елементи.

Надійність ГС залежить від надійності кожної з підсистем, а також від використання різних видів олив. При цьому відмова в роботі будь-якої з підсистем веде до припинення нормальної роботи всієї системи. Кожна з підсистем може перебувати в двох фіксованих станах - робочому і неробочому.

Для опису цих процесів будемо використовувати, в якості інструменту, деякі аспекти теорії ймовірностей. Знаходження систем в тому чи іншому стані кількісно оцінюється відповідною ймовірністю. Причому неможливо передбачити в який момент часу, яка з підсистем може вийти з ладу, і потребує діагностики та ремонтних робіт.

Оскільки потоки подій пов'язані з переходами з одного стану в інший є простими пуассоновськими, які володіють інтенсивностями $\lambda_{i,j}$ и $\mu_{1,0}$.

Тому, гідравлічне обладнання, як система може перебувати в обмеженому числі можливих дискретних станів. Вважаємо, що всі переходи системи зі стану S_i в S_j відбуваються під впливом найпростіших потоків подій з інтенсивностями $\lambda_{i,j}(i,j=0,1,2,3)$. Так, перехід системи зі стану S_0 в S_2 буде відбуватися під впливом потоку відмов першого вузла, а зворотній перехід зі стану S_2 в S_0 під впливом потоку "закінчень ремонтів" першого вузла і т.п.

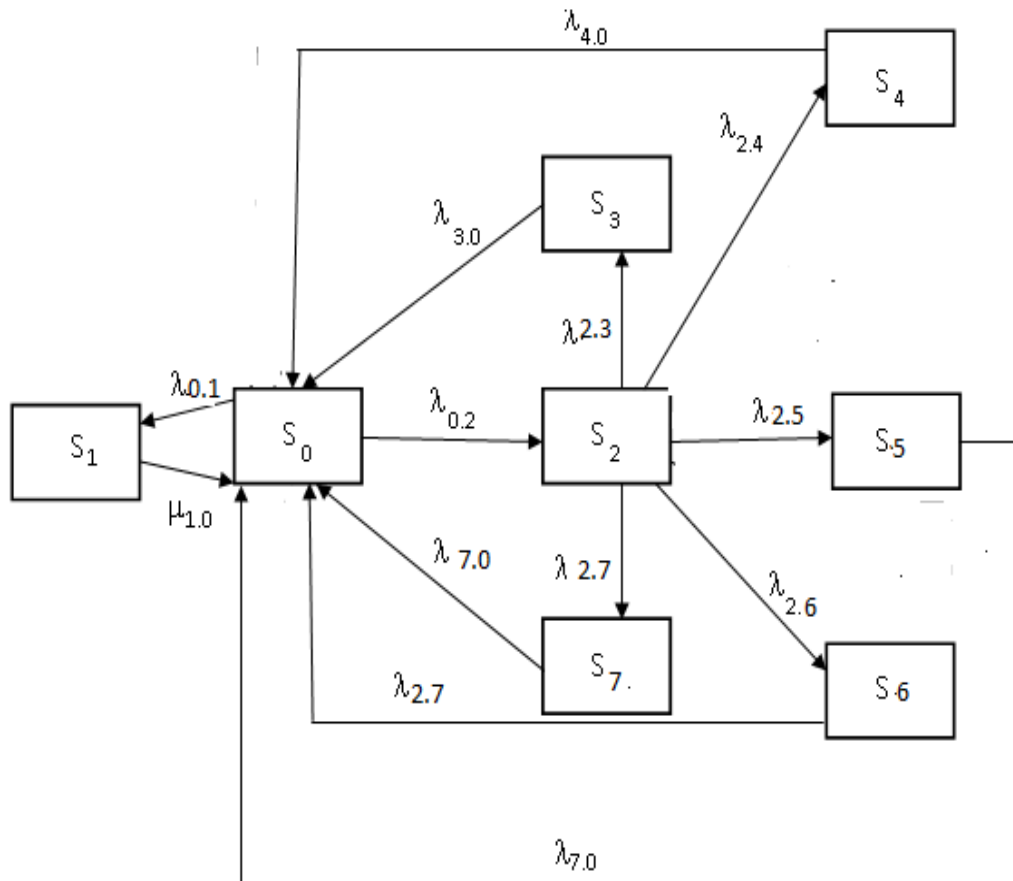
Вже згадана система має вісім можливих станів: $S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$.

Випадковий процес переходу з одного стану в інший може бути здійснений на основі визначення ймовірностей стану, які є функціями часу $P_0(t), P_1(t) \dots P_7(t)$.

Або $P_1(t) = P\{S(t) = S_i\}$, где $P_1(t)$ - ймовірність того, що в момент часу t система S знаходиться в стані S_i .

Отримаємо систему диференціальних рівнянь Колмогорова для ймовірностей станів: в лівій частині кожного з них стоїть похідна ймовірності i -го стану.

З точки зору математичного опису такий процес зручно розглядати як марковський, і ілюструвати його відповідним графом стану. Схематично граф стану для гідравлічної системи сільськогосподарської техніки наведено на рис. 1.



S_0 – гідравлічна система (ГС) справна і працює; S_1 – ГС справна але не працює (простої); S_2 – ГС несправна, і не працює (йде діагностування відмови); S_3 – ГС несправна, через відмову насосу; S_4 – ГС несправна, через відмову гідроліній; S_5 – ГС несправна, через відмову гідроциліндра (гідродвигуна); S_6 – ГС несправна, через відмову розподільника; S_7 – ГС несправна, через відмову ущільнення

Рис. 1. Граф стану гідравлічної системи сільськогосподарської техніки

У правій частині – сума добутків ймовірностей всіх станів (з яких йдуть стрілки в даний стан) на інтенсивності відповідних потоків подій, мінус сумарна інтенсивність всіх потоків, які виводять систему з даного стану, помножена на ймовірність даного (і-го стану).



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0(t)}{dt} = \mu_{1.0}(t) + \lambda_{3.0}P_3(t) + \lambda_{4.0}P_4(t) + \lambda_{5.0}P_5(t) + \lambda_{6.0}P_6(t) + \\ \lambda_{7.0}P_7(t) - \lambda_{0.1}P(t) - \lambda_{0.2}P_0(t) \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_{0.1}P_0(t) - \mu_{1.0}P_1(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_{0.2}P_0(t)(\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7}) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_{2.3}P_2(t) - \lambda_{3.0}P_3(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_{2.4}P_2(t) - \lambda_{4.0}P_4(t) \\ \frac{dP_5(t)}{dt} = \lambda_{2.5}P_2(t) - \lambda_{5.0}P_5(t) \\ \frac{dP_6(t)}{dt} = \lambda_{2.6}P_2(t) - \lambda_{6.0}P_6(t) \\ \frac{dP_7(t)}{dt} = \lambda_{2.7}P_2(t) - \lambda_{7.0}P_7(t) \end{array} \right. \quad (1)$$

Очевидно, що для будь-якого моменту t сума ймовірностей всіх станів дорівнює одиниці

$$\sum_{i=0}^{i=7} P_i(t) = 1 \quad (2)$$

Для вирішення системи рівнянь задамо початкові умови. В даному випадку система знаходиться в стані S_0 з ймовірністю $P_1(0) = 1$.

Тоді згідно нормувальної умови, інші ймовірності станів рівні:

$$P_1(0) = P_2(0) = P_3(0) = P_4(0) = P_5(0) = P_6(0) = P_7(0) = 0$$

Використовуючи рівняння Колмогорова є можливість знайти ймовірності станів як функції часу.

В даному випадку інтерес представляють ймовірності системи $P_i(t)$ в граничному стаціонарному режимі ($t \rightarrow \infty$):

$$P_i = \lim_{t \rightarrow \infty} P_i(t) \quad (3)$$

Для стаціонарного режиму експлуатації, це характерно. У такому режимі гідравлічна система переходить з одного стану в інший, але ймовірності знаходження в них залишаються постійними. Так як граничні ймовірності постійні:



$$\frac{dP_i}{dt} = 0, \quad (4)$$

То замінюючи в рівняннях Колмогорова їх похідні нульовими значеннями, отримаємо систему алгебраїчних рівнянь.

$$\left\{ \begin{array}{l} (\lambda_{01} + \lambda_{02})P_0 = \mu_{10}P_1 + \lambda_{30}P_3 + \lambda_{40}P_4 + \lambda_{50}P_5 + \lambda_{60}P_6 + \\ + \lambda_{70}P_7 \\ \mu_{10}P_1 = \lambda_{01}P_0 \\ (\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7})P_2 = \lambda_{02}P_0 \\ \lambda_{30}P_3 = \lambda_{2.3}P_2 \\ \lambda_{40}P_4 = \lambda_{2.4}P_2 \\ \lambda_{50}P_5 = \lambda_{2.5}P_2 \\ \lambda_{60}P_6 = \lambda_{2.6}P_2 \\ \lambda_{70}P_7 = \lambda_{2.7}P_2 \end{array} \right. \quad (5)$$

Ми отримали систему алгебраїчних рівнянь в яких є вісім невідомих $P_0 \dots P_7$.

Ці рівняння доповнюємо умовами:

$$\sum_{i=0}^{i=7} P_i(t) = 1 \quad (6)$$

З другого рівняння системи отримуємо:

$$P_0 = P_2 \left(\frac{\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7}}{\lambda_{02}} \right) \quad (7)$$

Далі

$$P_3 = P_2 \left(\frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} \right) \quad (8)$$

$$P_4 = P_2 \left(\frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} \right) \quad (9)$$

$$P_5 = P_2 \left(\frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} \right) \quad (10)$$

$$P_6 = P_2 \left(\frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} \right) \quad (11)$$

$$P_7 = P_2 \left(\frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) \quad (12)$$

Вирішуємо систему, підставляючи в нормувальну умову всі ймовірності, які виражені через P_2 :



$$\begin{aligned}
 &P_2 \frac{(\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7})}{\lambda_{02}} + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \cdot \\
 &P_2 \frac{(\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7})}{\lambda_{02}} + P_2 + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} \right) + \\
 &P_2 \left(\frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) = 1
 \end{aligned} \quad (13)$$

Звідси:

$$\begin{aligned}
 &P_2 \frac{(\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7})}{\lambda_{02}} \cdot \left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \right) + P_2 + \\
 &P_2 \left(\frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) = 1
 \end{aligned} \quad (14)$$

Після перетворення, маємо:

$$P_2 \left[\frac{\lambda_{2.3} + \dots + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7}}{\lambda_{02}} \left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \right) + 1 + \left(\frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \dots + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) \right] = 1 \quad (15)$$

Звідси, P_2 дорівнює:

$$\begin{aligned}
 P_2 &= \frac{1}{\left[\frac{\lambda_{2.3} + \dots + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7}}{\lambda_{02}} \left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \right) + 1 + \left(\frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \dots + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) \right]} \\
 P_2 &= \left[\frac{\lambda_{2.3} + \dots + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7}}{\lambda_{02}} \left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \right) + 1 + \left(\frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \dots + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) \right]^{-1}
 \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= \left[\frac{\lambda_{2.3} + \dots + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7}}{\lambda_{02}} \left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \right) + 1 + \left(\frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \dots + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) \right]^{-1}
 \end{aligned} \quad (17)$$

Маючи P_2 , знаходимо $P_0, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7$.

Ймовірність P_1 знаходимо з нормувальної умови, як різницю:

$$P_1 = 1 - (P_0 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7). \quad (18)$$

Отримані ймовірності станів покладені в основу визначення комплексних показників надійності гідравлічної системи. Тому коефіцієнт готовності K_G , є сумою ймовірностей працездатних станів, при справній і працюючій гідравлічній системі, а також при справній, але не працюючій гідравлічній системі (простою), з будь-яких причин не технічного характеру:

$$K_G = P_0 + P_1 \quad (19)$$



Вводимо в формулу значення ймовірностей і отримуємо:

$$K_r = P_0 + [1 - (P_0 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7)] \quad (20)$$

Перетворюючи рівняння (20) отримуємо:

$$K_r = 1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7 \quad (21)$$

Виразив ймовірності через P_2 , маємо:

$$K_r = 1 - P_2 \left(1 - \frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} + \frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) \quad (22)$$

Підставляючи в рівняння значення P_2 , які виражені через інтенсивності маємо остаточну формулу:

$$K_r = \frac{\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7}}{\lambda_{2.3} + \dots + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7} + \frac{\lambda_{02}}{\left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}}\right)} \cdot \left(1 + \frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \dots + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}}\right)} \quad (23)$$

Розглядаючи питання надійності гідравлічних систем слід звернути увагу на ще один комплексний показник надійності - коефіцієнт технічного використання $K_{Т.В.}$.

$$K_{Т.В.} = K_2 - (P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7) \quad (24)$$

Підставляємо в рівняння коефіцієнт готовності:

$$K_{Т.В.} = 1 - 2(P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7) \quad (25)$$

Звідси:

$$K_{Т.В.} = 1 - 2P_2 \cdot \left(\frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} + \frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) \quad (26)$$

Замінюючи ймовірність P_2 , через інтенсивності отримуємо:

$$K_{Т.В.} = 1 - \frac{2 \cdot \left(1 + \frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} + \frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right)}{\frac{\lambda_{2.3} + \dots + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7}}{\lambda_{02}} \cdot \left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \right) + 1 + \left(\frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \dots + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right)} \quad (27)$$

Для визначення інтенсивностей переходів λ_i и μ_{10} досліджуваної гідравлічної системи з одного стану в інший використовуємо наступне співвідношення:

$$\lambda_i = (T_i)^{-1} ; \quad (28)$$



$$\mu_{10} = T_{10}^{-1}. \quad (29)$$

де T_i – середній час проведення i -тої операції.

Інтенсивності переходів λ_i и μ_7 обчислюються на основі практичних випробувань.

Далі розраховуємо ймовірності переходів гідравлічної системи з одного стану в інший, на мінеральній оліві за формулою (17):

$$P_2 = \left[\left(\frac{0,00025+0,0002+0,000142+0,00012+0,0001}{0,001} \right) \left(1 + \frac{0,49}{0,01} \right) + 1 + \frac{0,00025}{0,000156} + \frac{0,0002}{0,000111} + \frac{0,000142}{0,0001183} + \frac{0,00012}{0,00007} + \frac{0,00001}{0,00008} \right]^{-1} = 0,021.$$

Звідси, відповідно до формул (8 ... 12) обчислюємо ймовірності:

$$P_3 = 0,0336; P_4 = 0,0378; P_5 = 0,0252; P_6 = 0,0357; P_7 = 0,0315;.$$

По формулі (7) находимо P_0 , $P_0 = 0,021 \cdot 0,812 = 0,017$.

P_1 згідно формули (18) дорівнює $P_1 = 1 - 0,201 = 0,799$.

Звідси коефіцієнт готовності для гідравлічної системи обчислюємо за формулою (21):

$$K_r = 1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7 = 1 - 0,021 - 0,0336 - 0,0378 - 0,0252 - 0,0357 - 0,0315 = 0,816$$

Знаходимо коефіцієнт технічного використання:

$$K_{т.в.} = K_r - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7 = 0,816 - 0,184 = 0,632$$

Необхідність застосування рослинних олій у техніці зумовлена дефіцитом нафтових олів, їх подорожчанням. В такій ситуації використання олів рослинного походження стає економічно виправданим.

Далі по аналогії проведемо розрахунки K_r та $K_{т.в.}$ при використанні в гідросистемі біоолив.



$$P_2 = \left[\left(\frac{0,0003125 + 0,0002631 + 0,0001562 + 0,000151 + 0,000192}{0,001} \right) \left(1 + \frac{0,42}{0,01} \right) + 1 + \frac{0,0003125}{0,000416} + \frac{0,0002631}{0,000389} + \frac{0,0001562}{0,000306} + \frac{0,000151}{0,00022} + \frac{0,000192}{0,000215} \right]^{-1} = 0,0249.$$

Звідси, відповідно до формул (8 ... 12) обчислюємо ймовірності:

$$P_3 = 0,0331; P_4 = 0,0368; P_5 = 0,0483; P_6 = 0,0363; P_7 = 0,0289;.$$

По формулі (7) находимо P_0 , $P_0 = 0,0249 \cdot 1,075 = 0,0267$.

P_1 згідно формули (18) дорівнює $P_1 = 1 - 0,224 = 0,776$.

Звідси коефіцієнт готовності для гідравлічної системи, на біооливі, обчислюємо за формулою (21):

$$K_r = 1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7 = 1 - 0,2083 = 0,791$$

Знаходимо коефіцієнт технічного використання для гідравлічної системи, на біооливі:

$$K_{т.в} = K_r - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7 = 0,791 - 0,2083 = 0,583$$

В результаті проведених досліджень встановлено, що хімотологічні і триботехнічні властивості нафтових та біологічних олив істотно відрізняються, тому з метою забезпечення їх оптимального складу необхідно проводити їх змішування в певних пропорціях; триботехнічні властивості біологічних олив мають кращі властивості, ніж мінеральні, але поступаються по стійкості до окислення, тому для покращення їх властивостей доцільно вводити до їх складу необхідні багатофункціональні добавки і присадки.

По аналогії, як і у перших двох випадках, проведемо розрахунки K_r та $K_{т.в}$ при використанні в гідросистемі біооливи в суміші з мінеральною оливою з покращеними показниками.

$$P_2 = \left[\left(\frac{0,0002 + 0,00037 + 0,00019 + 0,000117 + 0,000122}{0,001} \right) \left(1 + \frac{0,47}{0,01} \right) + 1 + \frac{0,0002}{0,000015} + \frac{0,00037}{0,0000249} + \frac{0,00019}{0,000135} + \frac{0,000117}{0,00008} + \frac{0,000122}{0,000087} \right]^{-1} = 0,0171.$$

Звідси, відповідно до формул (8 ... 12) обчислюємо ймовірності:

$$P_3 = 0,0227; P_4 = 0,0253; P_5 = 0,0235; P_6 = 0,0249; P_7 = 0,0254.$$



По формулі (7) находимо P_0 , $P_0 = 0,0171 \cdot 0,999 = 0,017$.

P_1 згідно формули (18) дорівнює $P_1 = 1 - 0,1388 = 0,86$.

Звідси коефіцієнт готовності для гідравлічної системи обчислюємо за формулою (21):

$$K_r = 1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7 = 1 - 0,0171 - 0,0227 - 0,0253 - 0,0235 - 0,0218 - 0,0254 = 0,864.$$

Знаходимо коефіцієнт технічного використання:

$$K_{т.в.} = K_r - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7 = 0,864 - 0,1358 = 0,728.$$

Висновок: Таким чином, використовуючи отримані залежності можна достовірно оцінити ступінь впливу різних видів робочих рідин на надійність гідравлічної системи сільськогосподарської техніки, використовуючи узагальнені показники, а саме коефіцієнти готовності і технічного використання. Очевидним є те, що одним із шляхів підвищення коефіцієнта готовності і технічного використання сільськогосподарської техніки при застосуванні біологічних змащувальних матеріалів рекомендується застосування багатофункціональних добавок і присадок, що дозволить виключити шкідливий вплив вільних жирних кислот оливи на метали деталей сполучень і забезпечити нормовані ресурси вузлів і агрегатів сільськогосподарської техніки. Розглядаючи гідравлічні системи сільськогосподарської техніки, як складні технічні системи, схильні до різних видів відмов, нами було запропоновано модель надійності, що дозволяє за статистичними характеристиками напрацювання на відмову їх елементів отримувати нормовані в технічних умовах усереднені значення часу на виконання технологічних операцій з технічного обслуговування та ремонту гідравлічних систем. Вони оцінюються узагальненими показниками, а саме коефіцієнтом готовності K_r та коефіцієнтом технічного використання $K_{т.в.}$.

В результаті проведених досліджень встановлено, що коефіцієнт готовності для гідравлічної системи: на мінеральній оливі - 0,816; на біоливі - 0,791; на сумішеві оливі з покращеними показниками - 0,864, а коефіцієнт технічного використання: на мінеральній оливі - 0,632; на біоливі - 0,583; на сумішеві оливі з покращеними показниками - 0,728. Таким чином використання сумішевих робочих рідин з покращеними показниками дозволило підвищити показники коефіцієнтів готовності і технічного використання. Завдяки цьому ми отримали можливість на конкретному прикладі гідросистеми

сільськогосподарської техніки, при роботі на різних видах робочих рідин реалізовувати один із основоположних принципів підвищення надійності технічних систем, сутність якого полягає у визначенні та усуненні несправностей елементів підсистем, що обмежують експлуатаційну надійність гідравлічної системи в роботі на відмову та зменшення часу на пошук та усунення несправностей.

Список використаних джерел

1. Журавель Д. П. Підвищення довговічності функціональних систем сільськогосподарської техніки при використанні біопаливно-мастильних матеріалів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. 2018. Вип. 282. С. 279–292.
2. Журавель Д. П. Моделювання процесу зношування прецизійних пар паливних систем мобільної техніки при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. 2018. Вип. 18, т. 2. С. 105–118.
3. Журавель Д. П. Підвищення ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки шляхом забезпечення оптимального складу сумішевих біодизельних палив. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2018. Вип. 8, т. 2. С. 91–107.
4. Журавель Д. П. Моделювання працездатності машино-тракторного агрегату при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 57–68.
5. Мілько Д. О. Методика складання раціону великої рогатої худоби на основі поживної цінності кормових компонентів. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2019. Вип. № 10(109). С. 91–96.
6. Бондар А. М.. Використання біологічної оливи для сільськогосподарської техніки. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2019. Вип. № 10(109). С. 125–131.
7. Galina Gritsaenko, Igor Gritsaenko, Andrei Bondar. Mechanism for the Maintenance of Investment in Agriculture. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. 2019. Ch. I. P. 29–40.
8. Kyrylo Samoichuk, Olga Viunyk, Dmytro Milko, Andrii Bondar Research on milk homogenization in the stream homogenizer with separate cream feeding. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 142–148.
9. Dmitry Milko, Kyrylo Samoichuk, Yulia Postol Revealing new patterns in resourcesaving processing of chromium-containing ore raw materials by solidphase reduction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 1/12(103). P. 24–29.
10. Dmytro Milko., Oleksandr Sclyar., Radmila Sclyar., Ganna Pedchenko. Results of the nutritional preservation research of the alfalfa



laying on storage with two-phase compaction. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2020. Vol. 60, no. 1. P. 269–274.

11. Kyrylo Samoichuk, Nadiya Palyanichka, Vadim Oleksiienko, Serhii Petrychenko. Improving the quality of milk dispersion in a counter-jet homogenizer. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 633–640.

12. Бондар А. М. Покращення та оцінка якісних показників відпрацьованих автотракторних олив для сільськогосподарської техніки. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 11, т. 1. 15. С. 1-6.

13. Бондар А. М. Прогнозування ресурсу трибосистем при використанні сумішевих олив. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 11, т. 1. 19 с.

14. Бондар А. М., Дашивець Г. І., Паніна В. В. Обґрунтування швидкісних параметрів роботи машино-тракторного агрегату. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 11, т. 2. С. 85–97.

15. Dmytro Zhuravel. Research of lubricant properties of used tractor motor oils. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 11, т. 2. 18 с.

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

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

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

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

Стаття надійшла до редакції 05.08.2024 р.

**D. Zhuravel****Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University****STRUCTURAL ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF HYDRAULIC SYSTEMS
OF AGRICULTURAL EQUIPMENT USING BIOLOGICAL WORKING FLUIDS*****Summary***

The work substantiates the reliability model, which allows, based on the statistical characteristics of the working time to failure of their elements, to obtain the averaged values of the time for performing technological operations for technical maintenance and repair of hydraulic systems of agricultural machinery, standardized in technical conditions, with the help of coefficients of readiness and technical use. As a result of the conducted studies, it was established that the coefficient of readiness for the hydraulic system: on mineral oil - 0.816; on bio-oil – 0.791; on mixed oil with improved indicators - 0.864, and the coefficient of technical use: on mineral oil - 0.632; on bio-oil – 0.583; on mixed oil with improved indicators - 0.728. Therefore, the use of mixed working fluids with improved indicators made it possible to increase the indicators of the coefficients of readiness and technical use. Thus, using the obtained dependencies, it is possible to reliably assess the degree of influence of different types of working fluids on the reliability of the hydraulic system of agricultural machinery, using generalized indicators, namely the coefficients of readiness and technical use. It is obvious that one of the ways to increase the readiness factor and technical use of agricultural machinery when using biological lubricating materials is the use of multifunctional additives and additives, which will eliminate the harmful effect of free fatty acids of oil on the metals of the coupling parts and ensure standardized resources of nodes and aggregates of agricultural machinery. Considering the hydraulic systems of agricultural machinery as complex technical systems prone to various types of failures, we proposed a reliability model that allows, based on the statistical characteristics of the working time to failure of their elements, to obtain the average values of the time for performing technical maintenance and repair operations standardized in technical conditions GS. The renewability of raw materials and relative cheapness compared to biodegradable, ecologically safe synthetic products determine the expediency of work on the solidification of working fluids of biological origin in the operation of agricultural machinery.

Key words. bio-oil, reliability modeling, hydraulic system, agricultural machinery, readiness factor, failure, technical utilization factor.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-3

УДК 631.361:621.92

С. П. Степаненко¹, д.т.н.,

ORCID: 0000-0002-8331-4632

Б. І. Котов², д.т.н.,

ORCID: 0000-0001-6369-3025

В. А. Мельник¹,

ORCID: 0009-0006-2383-9572

Д. А. Волик¹,

ORCID: 0009-0001-1979-861X

¹Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України²Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

e-mail: stepanenko_s@ukr.net

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ В РОБОЧІЙ ЗОНІ СЕПАРАТОРА

Анотація. Отримано замкнуту систему рівнянь зі зв'язуючим рівнянням, яка дозволяє моделювати рух насіння по обертовій поверхні. При чисельному інтегруванні цієї системи можна оцінити ефективність різних поверхонь розкидача пневмовідцентрового сепаратора для досягнення бажаних результатів, таких як зменшення геометричних розмірів, підвищення продуктивності або покращення якості сепарування. Чисельне інтегрування враховує вплив фізичних, геометричних, технологічних і кінематичних параметрів на кінцевий результат, включаючи час і швидкість руху в циліндричних координатах. Моделювання руху насіння по поверхні розкидача пневмовідцентрового сепаратора дозволяє обґрунтувати раціональні геометричні розміри ротора та оптимальні технологічні режими роботи.

Застосування розкидачів зернового матеріалу з криволінійними поверхнями у пневмовідцентрових сепараторах для прискорення руху насіння є перспективним підходом у післязбиральній обробці. Моделювання руху насіння на таких поверхнях дозволяє прогнозувати їх рух із повним розумінням впливу різних параметрів на процес рівномірного розподілу по периметру каналу ротора сепаратора. Чисельне інтегрування в реальних умовах експлуатації допомагає оптимізувати геометрію розкидача та технологічні параметри для досягнення найкращих результатів. Це сприяє ефективнішому використанню ресурсів та покращенню якості обробки зернових матеріалів.

Ключові слова: моделювання, сепаратор, процес переміщення, зерновий матеріал, робочий орган, рівняння відносного руху, рівняння поверхні, множник Лагранжа.

Постановка проблеми. В галузі післязбиральної обробки зерна все більший інтерес в останні часи викликають пневмовідцентрові та вібровідцентрові сепаратори як з горизонтальним так і з вертикальним ротором, з принципом дії яких є розгін насінини за рахунок відцентрових сил інерції з подальшим її фракціонуванням на



відповідні фракції. Це в деякій мірі пов'язано із зменшенням енергетичних витрат на процес фракціонування зернових матеріалів порівняно з іншими сепараторами, які, крім безпосередніх витрат на поділ насінин, мають енерговитрати на переміщення за допомогою виключно повітряного потоку цілого і подрібненого зерна. У пневмовідцентрових сепараторах подача матеріалу до вертикального решітного ротора може здійснюватися за рахунок відцентрових сил інерції, що створюються обертаючимся ротором з робочими органами. І однією з ключових ролей пневмовідцентрового сепаратора зернових матеріалів є розподільчий робочий орган (розкидач) або прискорювач, який забезпечує рівномірну, стабільну подачу матеріалу до вертикального ротора і надає матеріалу (насінинам), що знаходяться на її поверхні, необхідну лінійну швидкість і траєкторію руху, які на даний час мало вивчені, тому необхідно розглянути процес переміщення зернового матеріалу в робочій зоні сепаратора і встановити раціональні значення траєкторій та швидкостей руху.

Аналіз останніх досліджень. Більшість конструкцій пневмовідцентрових та вібровідцентрових сепараторів мають центральну осьову подачу матеріалу до прискорювача у вигляді плоского диска [1, 2, 6-8]. Однак при такому способі подачі матеріалу прискорення частинки, що знаходиться найближче до осі обертання, ускладнене через відсутність початкової швидкості та недостатність відцентрових сил для подолання тертя, що призведе до утворення зони застою (об'ємне нагромадження матеріалу в аспіраційному каналі) та збільшення витрат на їх подолання [3, 4, 9-11, 19]. Для вирішення цієї проблеми можливі два підходи: подача матеріалу зі зміщенням від осі обертання, що ускладнює конструкцію, або використання відбивної поверхні [12, 13], яка є прямою кінцевою поверхнею, розташованою паралельно осі обертання, забезпечуючи віддалення насінин матеріалу від осі обертання та надання їм початкової швидкості. У вібровідцентрових сепараторах, що використовують принцип комбінованого впливу на зерновий матеріал, слід відзначити, що важливу роль також відіграє траєкторія руху зернових матеріалів на розкидних дисках [14, 15].

Слід відмітити, що в роботі [4] розглянута взаємодія частинки матеріалу, які змушені ковзати по поверхні у відносному русі, при цьому описуючи іншу траєкторію в абсолютному русі. Абсолютна траєкторія складається з відносного руху ковзання частинки та переносного руху поверхні.

Автори [4] об'єднали відносний рух ковзання частинки та переносний рух поверхні та довели зручність використовувати двох систем координат: рухомої, відносно якої описується відносний рух частинки, і нерухомої, відносно якої описується переносний рух



поверхні та абсолютний рух частинки. У науковій праці розглядається рух тригранника як переносний, а рух точки у системі тригранника як відносний. Для формулювання системи диференціальних рівнянь відносного руху частинки використовуються формули Френе. На відміну від традиційного підходу, за незалежну змінну обирається довжина дуги напрямної кривої, вздовж якої рухається тригранник, а не час.

В інших працях [5-12] автори розглянули рух площин поступально (усі точки площини описують однакові криві), частинка рухається по траєкторії, схожій на криву, яку описує площина та обертальному русі площини (усі точки площини описують концентричні кола), частинка рухається по спіралі правильної форми. Дослідники поєднали ці два рухи, які призводять до того, що на початковому етапі відносний рух частинки є дещо хаотичним, але з часом набуває форми спіралі незалежно від місця попадання частинки на площину. У статті розглянуто відносний рух частинки по горизонтальній шорсткій площині, яка здійснює складні коливання, спричинені переміщенням точки площини по колу зі сталою кутовою швидкістю відносно його центра і одночасним обертанням площини навколо цієї точки з тією ж кутовою швидкістю в протилежному напрямі.

В наукових дослідженнях [13-16] отримано диференціальні рівняння, що регулюють відносний рух частинки вздовж периферії вертикального гвинта, обмеженого рухомим коаксіальним циліндром. Обидві поверхні утворюють єдину структуру та обертаються навколо спільної вісі. Розглядається конкретний випадок, де поверхні залишаються нерухомими. Проведено якісний аналіз отриманих рівнянь, що дозволяє виявити закономірності у русі частинки вздовж гелікальної траєкторії перетину гвинта з циліндром. Визначено параметри, що стосуються структури та кінематики, розмежовуючі умови, при яких частинка піднімається під час ковзання вздовж гелікальної траєкторії або опускається вниз. Описано відносні та абсолютні траєкторії руху частинки.

В дослідженнях [17] встановлено детальний опис розробленої фізичної моделі пневматичного процесу класифікації для виявлення обертового шару матеріалу і забезпечення частоти завантаження та розвантаження пневматичного класифікатора. Також розроблено відповідну математичну модель для оцінки нестаціонарної концентрації дрібних частинок у газорозподіленому потоці з плином часу та висоти робочого простору апарату. Дослідження спрямоване на розробку методу пневматичної класифікації для гранульованих матеріалів з використанням апарату у формі ромба та забезпечення надійності робочого процесу за рахунок врахування впливу потоку на



концентрації гранульованих матеріалів. Вивчено, що пневматичний класифікатор у формі ромба ефективно розділяє гранульований матеріал, досягаючи до 95% цільової фракції. В результаті запропоновану методологію можна впровадити для оптимізації геометричних профілів пневматичних класифікаторів з урахуванням потрібних технологічних параметрів процесу пневматичної класифікації.

В роботі [18] запропонована тривимірна математична модель монотонного спадання, яка дозволяє визначити гідродинамічні параметри потоку рідинної плівки та між фазової поверхні. В результаті виявлено, що між фазова поверхня залежить від запропонованого безрозмірного критерію, який включає в себе внутрішній напружений стан, довжину каналу та густину рідини. Додатково аналітично отримані рівняння для визначення середньої товщини плівки, середніх векторів швидкості по товщині плівки, компонентів швидкості вздовж вертикальної вісі, а також початкового кута відхилення потоку від вертикальної вісі.

Формулювання мети статті. Мета дослідження полягає у тому, щоб змодельовати рух частинок (насінин) по поверхні розподільчого робочого органа, який обертається.

Матеріали, методи та об'єкти дослідження. Одним з методів, які ми використовуємо для досягнення даної мети, є форма прискорювача, яка дозволяє нам задавати початкові кінематичні параметри та траєкторію руху насінин. Це, в свою чергу, впливає на розміри, металоємність та робочі режими вертикального ротора чи його складових. Для вирішення цієї проблеми ми використовуємо моделювання руху частинок матеріалу по його поверхні, яка обертається. Для цього ми застосовуємо основний закон динаміки матеріальної точки та досліджуємо рух частинки по обертовій поверхні. Для отримання результатів ми використовуємо крокову чисельну інтеграцію, що дозволяє отримати дані для аналізу руху частинок з бажаною точністю.

Основна частина. Криволінійна поверхня обертається навколо вертикальної осі (рис. 1). Рівняння поверхні ми можемо описати у циліндричних координатах за допомогою рівняння такого виду [2, 3, 5]:

$$\epsilon(\rho, \varphi, z) = 0, \quad (1)$$

де ρ - циліндричний радіус; φ - полярний кут; z - аппліката.

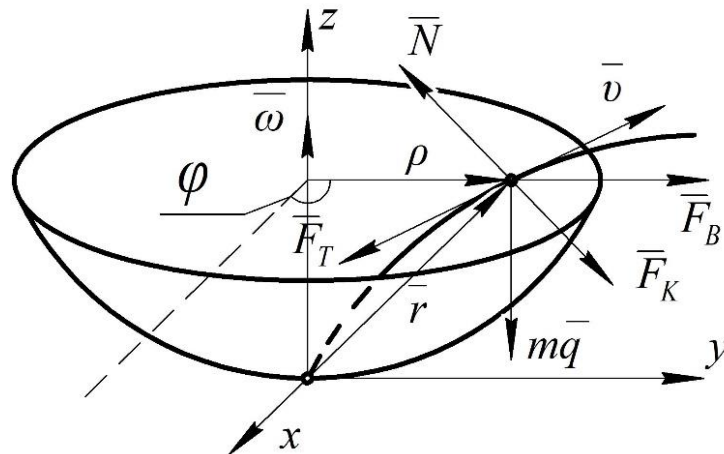


Рис. 1. Розрахункова схема руху частинки по обертовій криволінійній поверхні

Радіус-вектор матеріальної точки, що рухається по криволінійній поверхні, яка обертається разом із нею, є функцією трьох цих координат, які можуть змінюватися з часом, не порушуючи рівняння (1):

$$\vec{r} = \vec{r}(\rho, \varphi, z), \quad (2)$$

Диференціальне рівняння відносного руху точки по обертовій поверхні можна записати у векторній формі:

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = m \cdot \vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_T + \vec{F}_B + \vec{F}_K, \quad (3)$$

де m - маса частинки; $\frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$ - її прискорення; $m \cdot \vec{g}$ - сила тяжіння; $\vec{N}$ - нормальна реакція поверхні прискорювача (розподільника); $\vec{F}_T$ - сила тертя від поверхні, спрямована протилежно відносній швидкості руху частинки; $\vec{F}_B$ - переносна відцентрова сила інерції; $\vec{F}_K$ - сила інерції Коріоліса.

Визначимо проекції сил та прискорень на напрямки циліндричних осей координат. Сила тяжіння протилежна осі z :

$$m \cdot \vec{g} = m \cdot \vec{g}(0, 0, -m \cdot g), \quad (4)$$

де g - прискорення вільного падіння.

Нормальна реакція обертової криволінійної поверхні визначиться, як:

$$\vec{N} = \delta \cdot \text{grad}(\epsilon), \quad (5)$$

де $\delta = \delta(t)$ - невизначений множник Лагранжа [13, 16, 18]; $\text{grad}(\epsilon)$ - вектор градієнту до рівняння поверхні (1), який має проекції на циліндричну систему координат, при цьому вісь φ направлена перпендикулярно вісям ρ, z , проходить через рухливу точку, так що вісь ρ, φ, z утворюють праву трійку векторів.

$$\begin{cases} [grad(\epsilon)]_{\rho} = \frac{\partial \epsilon}{\partial \rho}; \\ [grad(\epsilon)]_{\varphi} = \frac{\partial \epsilon}{\partial \varphi} \cdot \rho^{-1}; \\ [grad(\epsilon)]_z = \frac{\partial \epsilon}{\partial z}; \end{cases} \quad (6)$$

Тоді проекції нормальної реакції $\vec{N}$ дорівнюють:

$$\begin{cases} N_{\rho} = \delta \frac{\partial \epsilon}{\partial \rho}; \\ N_{\varphi} = \delta \frac{\partial \epsilon}{\partial \varphi} \cdot \rho^{-1}; \\ N_z = \delta \frac{\partial \epsilon}{\partial z}; \end{cases} \quad (7)$$

Модуль нормальної реакції знайдемо із залежності:

$$N = |\vec{N}| = |\delta| \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial \epsilon}{\partial \rho}\right)^2 + \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial \varphi} \cdot \rho^{-1}\right)^2 + \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial z}\right)^2}, \quad (8)$$

При постійній кутовій швидкості обертання криволінійної поверхні $\vec{\omega}$, переносна відцентрова сила інерції $\vec{F}_B$ спрямована вздовж радіусу ρ відповідно до результату векторних множень у її визначенні:

$$\vec{F}_B = -m\vec{\omega} \cdot (\vec{\omega} \cdot \vec{r}), \quad (9)$$

де $\vec{r}$ визначається за виразом (2), отже:

$$\begin{cases} F_{B\rho} = m \cdot \omega^2 \cdot \rho; \\ F_{B\varphi} = 0; \\ F_{Bz} = 0; \end{cases} \quad (10)$$

Сила інерції Коріоліса за визначенням дорівнює:

$$\vec{F}_K = -2m\vec{\omega} \cdot (\vec{\vartheta}), \quad (11)$$

де $\vec{\vartheta}$ - відносна швидкість матеріальної точки в рухомих вісях координат, модуль відносної швидкості пов'язаний з циліндричними координатами за відомим виразом:

$$\vartheta = \sqrt{(\dot{\rho})^2 + (\rho\dot{\varphi})^2 + (\dot{z})^2}, \quad (12)$$

Тоді проекції сили Коріоліса дорівнюють:

$$\begin{cases} F_{K\rho} = 2m \cdot \omega \cdot \dot{\varphi} \cdot \rho; \\ F_{K\varphi} = -2m \cdot \omega \cdot \dot{\rho}; \\ F_{Kz} = 0; \end{cases} \quad (13)$$

Сила тертя частинки про поверхні розподільника визначається за законом Кулона [2, 7] через нормальну реакцію та протилежна за напрямком відносної швидкості.

$$\vec{F}_T = -|\vec{N}| \cdot f \cdot \frac{\vec{\vartheta}}{\vartheta}, \quad (14)$$



$$\begin{cases} F_{T\rho} = -|\vec{N}| \cdot f \cdot \frac{\dot{\rho}}{\vartheta}; \\ F_{T\varphi} = -|\vec{N}| \cdot f \cdot \frac{\dot{\varphi} \cdot \rho}{\vartheta}; \\ F_{Kz} = -|\vec{N}| \cdot f \cdot \frac{\dot{z}}{\vartheta}; \end{cases} \quad (15)$$

Спроекуємо рівняння (3) на вісі рухомої системи циліндричних координат, що обертаються разом з криволінійною поверхнею, використовуючи знайдені проекції всіх сил:

$$\begin{cases} m \cdot (\ddot{\rho} - \rho \cdot (\dot{\varphi})^2) = \delta \cdot \frac{\partial \epsilon}{\partial \rho} - N \cdot f \cdot \frac{\dot{\rho}}{\vartheta} + m \cdot \omega^2 \cdot \rho + 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \dot{\varphi} \cdot \rho; \\ m \cdot \rho^{-1} \cdot \frac{d(\rho^2 \dot{\varphi})}{dt} = -N \cdot f \cdot \frac{\dot{\varphi} \cdot \rho}{\vartheta} - 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \dot{\rho}; \\ m \cdot \ddot{z} = -m \cdot g + \delta \frac{\partial \epsilon}{\partial z} - N \cdot f \cdot \frac{\dot{z}}{\vartheta}; \end{cases} \quad (16)$$

Перетворимо друге рівняння системи з урахуванням проекції прискорення на вісь φ та запишемо його в наступному вигляді:

$$\rho^{-1} \cdot \frac{d(\rho^2 \dot{\varphi})}{dt} = \ddot{\varphi} \cdot \rho + 2 \cdot \dot{\varphi} \cdot \dot{\rho}. \quad (17)$$

Припустимо приведення всіх сил до одиничної маси насінини при $m = 1$, отримаємо:

$$\begin{cases} \ddot{\rho} = \rho \cdot (\dot{\varphi})^2 + \delta \cdot \frac{\partial \epsilon}{\partial \rho} - N \cdot f \cdot \frac{\dot{\rho}}{\vartheta} + \omega^2 \cdot \rho + 2 \cdot \omega \cdot \dot{\varphi} \cdot \rho; \\ \ddot{\varphi} = \rho^{-1} \cdot \left[-2 \cdot \dot{\varphi} \cdot \dot{\rho} - N \cdot f \cdot \frac{\dot{\varphi} \cdot \rho}{\vartheta} - 2 \cdot \omega \cdot \dot{\rho} \right]; \\ \ddot{z} = -g + \delta \frac{\partial \epsilon}{\partial z} - N \cdot f \cdot \frac{\dot{z}}{\vartheta}; \end{cases} \quad (18)$$

Для отримання замкнутої системи рівнянь доповнимо систему (18) рівнянням зв'язку (1). Тоді чотири невідомі $\rho(t), \varphi(t), z(t), \delta(t)$ функції можна знайти шляхом розв'язання системи трьох диференціальних (18) та одного алгебраїчного (1) рівнянь.

Є можливість різних форм виконання поверхні обертання в рівнянні (1). Визначимо рівняння зв'язку у вигляді вісь симетричної поверхні, описаної степеневою функцією, яка проходить через задані початкову та кінцеву точки руху і має наступний вигляд:

$$\frac{z}{z_m} = A_0 + \left(\frac{\rho}{\rho_m} \right)^n. \quad (19)$$

де A_0 – відповідний доданок, який визначається з умови належності початкової точки траєкторії даній поверхні обертання з координатами:

$$\rho(0) = \rho_0; \varphi(0) = 0; z(0) = 0, \quad (20)$$

де ρ_m, z_m координати кінцевої (максимальної) точки траєкторії, де закінчується поверхня, яка описана рівнянням (19) для всіх значень полярного кута φ ; n - показник степені у рівнянні поверхні, який



змінює степінь вигину розподільника і який можна змінювати для досягнення потрібних параметрів руху насінини.

Таким чином, початок координат рухомої системи відліку, в якій описується рух насінини, завжди відповідає по осі z початковій точці траєкторії руху, а вершина параболи в осьовому перерізі поверхні обертання лежить на цій вісі нижче нуля на величину A_0 .

$$A_0 = -\left(\frac{\rho_0}{\rho_m}\right)^n. \quad (21)$$

Перетворимо рівняння (19) до вигляду (1):

$$\epsilon(\rho, \varphi, z) = \frac{z}{z_m} - A_0 - \left(\frac{\rho}{\rho_m}\right)^n, \quad (22)$$

і обчислимо часткові похідні у виразі градієнта до поверхні зв'язку:

$$\begin{cases} \frac{\partial \epsilon}{\partial \rho} = -n \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_m}\right)^{n-1} \cdot \rho_m^{-1}; \\ \frac{\partial \epsilon}{\partial \varphi} = 0; \\ \frac{\partial \epsilon}{\partial z} = z_m^{-1}; \end{cases} \quad (23)$$

Отриману систему рівнянь (23) необхідно підставляти в проекції сили $\vec{N}$ - нормальної реакції до поверхні зв'язку в рівняннях (18).

З останнього рівняння системи (18) визначимо множник Лагранжа:

$$\delta = \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial \rho}\right)^{-1} \cdot \left[\ddot{z} + g + N \cdot f \cdot \frac{\dot{z}}{\vartheta}\right]. \quad (24)$$

Слід відмітити, що при русі по поверхні незалежними є лише дві циліндричні координати, то при чисельному покроковому інтегруванні візьмемо за основу перші два диференціальні рівняння (18), а координату z та її похідні за часом обчислимо через рівняння зв'язку (22) тоді отримаємо:

$$z = z_m \cdot A_0 + z_m \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_m}\right)^n, \quad (25)$$

$$\dot{z} = n \cdot z_m \cdot (\rho_m)^{-1} \cdot \dot{\rho} \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_m}\right)^{n-1}, \quad (26)$$

$$\ddot{z} = n \cdot z_m \cdot (\rho_m)^{-1} \cdot \frac{\dot{\rho}^2}{\rho_m} \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_m}\right)^{n-2} + n \cdot z_m \cdot (\rho_m)^{-1} \cdot \ddot{\rho} \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_m}\right)^{n-1}, \quad (27)$$

У виразах (24), (25), (26), (27) значення координат ρ, φ , а також їх похідних за часом на поточному кроці інтегрування прийняті рівними їх значенню в кінці попереднього кроку інтегрування. Процедура чисельного інтегрування системи рівнянь (18) проводилась методом усередненого прискорення [16, 18] за оригінальною алгоритмічною програмою [2, 3].

Після узагальнення система (18) з урахуванням (19-23) прийме наступний вигляд:

$$\begin{cases} \ddot{\rho} = \rho \dot{\theta}^2 - \frac{g}{v_{кр}^2} (\dot{\rho} + v_{пр}) \sqrt{(\dot{\rho} + v_{пр})^2 + (\rho \dot{\theta})^2 + (v_{пз} - \dot{z})^2}; \\ \ddot{\theta} = - \left[\frac{2\rho \ddot{\theta}}{\rho} - \frac{g}{v_{кр}^2} \dot{\theta} \sqrt{(\dot{\rho} + v_{пр})^2 + (\rho \dot{\theta})^2 + (v_{пз} - \dot{z})^2} \right]; \\ \ddot{z} = \frac{g}{v_{кр}^2} (v_{пз} - \dot{z}) \sqrt{(\dot{\rho} + v_{пр})^2 + (\rho \dot{\theta})^2 + (v_{пз} - \dot{z})^2} - g; \end{cases} \quad (28)$$

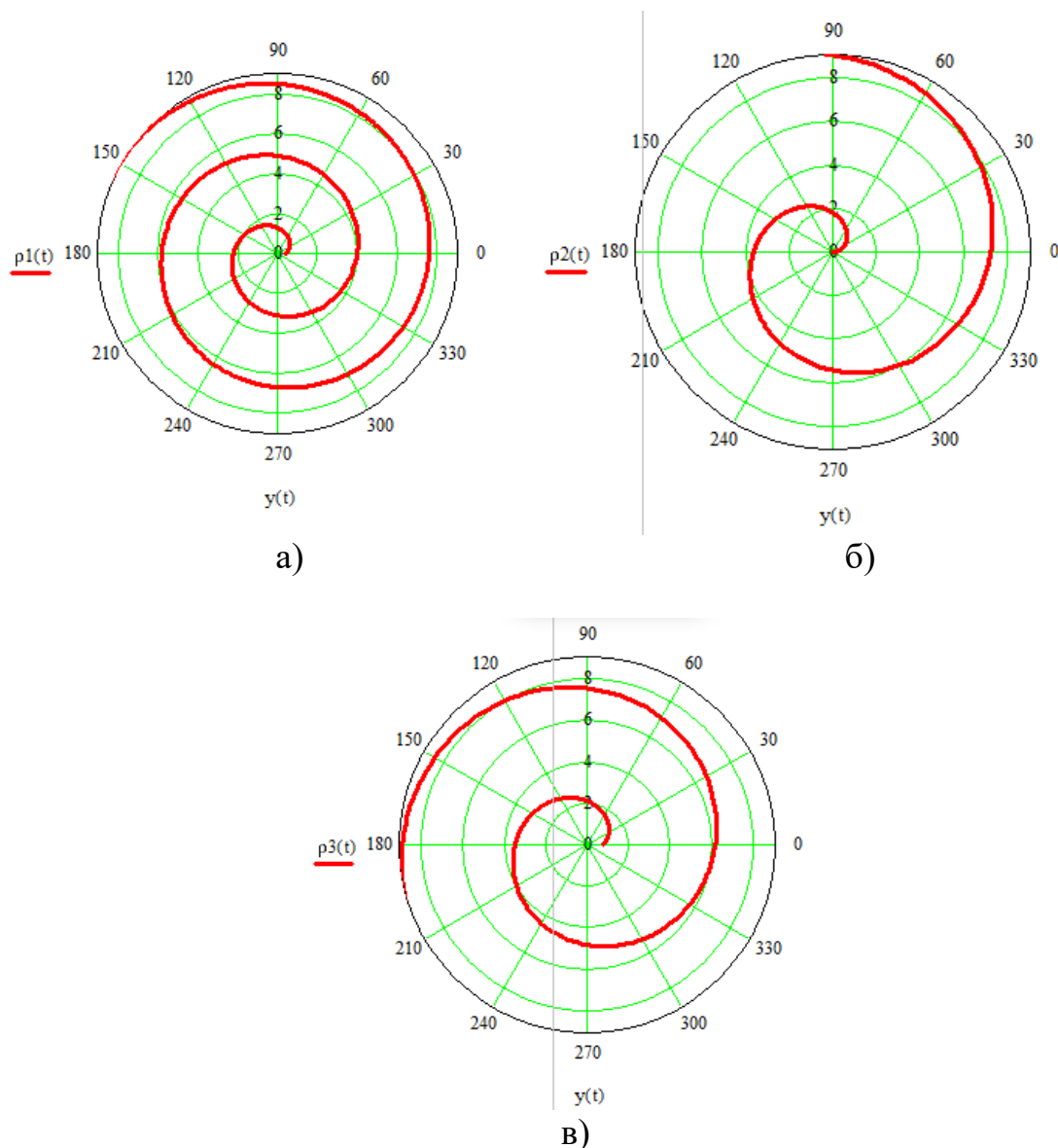
де

$$v_{пр} = \frac{v_{оп} \cos \beta}{1 - \frac{2(z-h_k)}{(B+2r_k)tg\beta}}; \quad v_{пз} = \frac{v_{оп} \sin \beta}{1 - \frac{2(z-h_k)}{(B+2r_k)tg\beta}}; \quad (29)$$

$v_{пз}$ - проекції швидкості повітря на координатні осі O_ρ і O_z ; $v_{кр}$ - критична швидкість частки зернової суміші; $v_{оп}$ - середня швидкість повітря і кільцевому каналі в площині верхньої кромки; β - кут між твірною поверхні зовнішньої стінки кільцевого каналу і горизонтальною площиною; B - ширина кільцевого каналу; h_k - висота конічної частини; r_k - радіус верхньої кромки конічної частини.

Результати для аналізу кінематичних параметрів руху та траєкторії частинки, яка починає рух без початкової лінійної швидкості v_0 і кутової швидкості ω_0 , рівної за модулем кутовій швидкості обертання ω при різних криволінійних поверхнях розкидача, наведені на рис. 2.

Отже, аналіз отриманих результатів показує, що використання вгнутої криволінійної поверхні ($n = 2$) дозволило в 2 рази збільшити у порівнянні з плоскою поверхнею ($n = 0$) і в 1,7 раза у порівнянні з конічною поверхнею ($n = -0,1$) значення набутої швидкості при сході з обертової поверхні розкидача, що є наслідком часу перебування насінини на поверхні. Так, наприклад, при $n = 2$ час складає $t = 2,06$ с., при $n = 0$ час складає $t = 0,9$ с., а при $n = -0,1$ час складає $t = 0,4$ с. При зміні форми обертової поверхні від вгнутої $n = 2$ до випуклої $n = -0,1$ зменшується загальна довжина пройденого насіниною шляху, тобто її траєкторія.

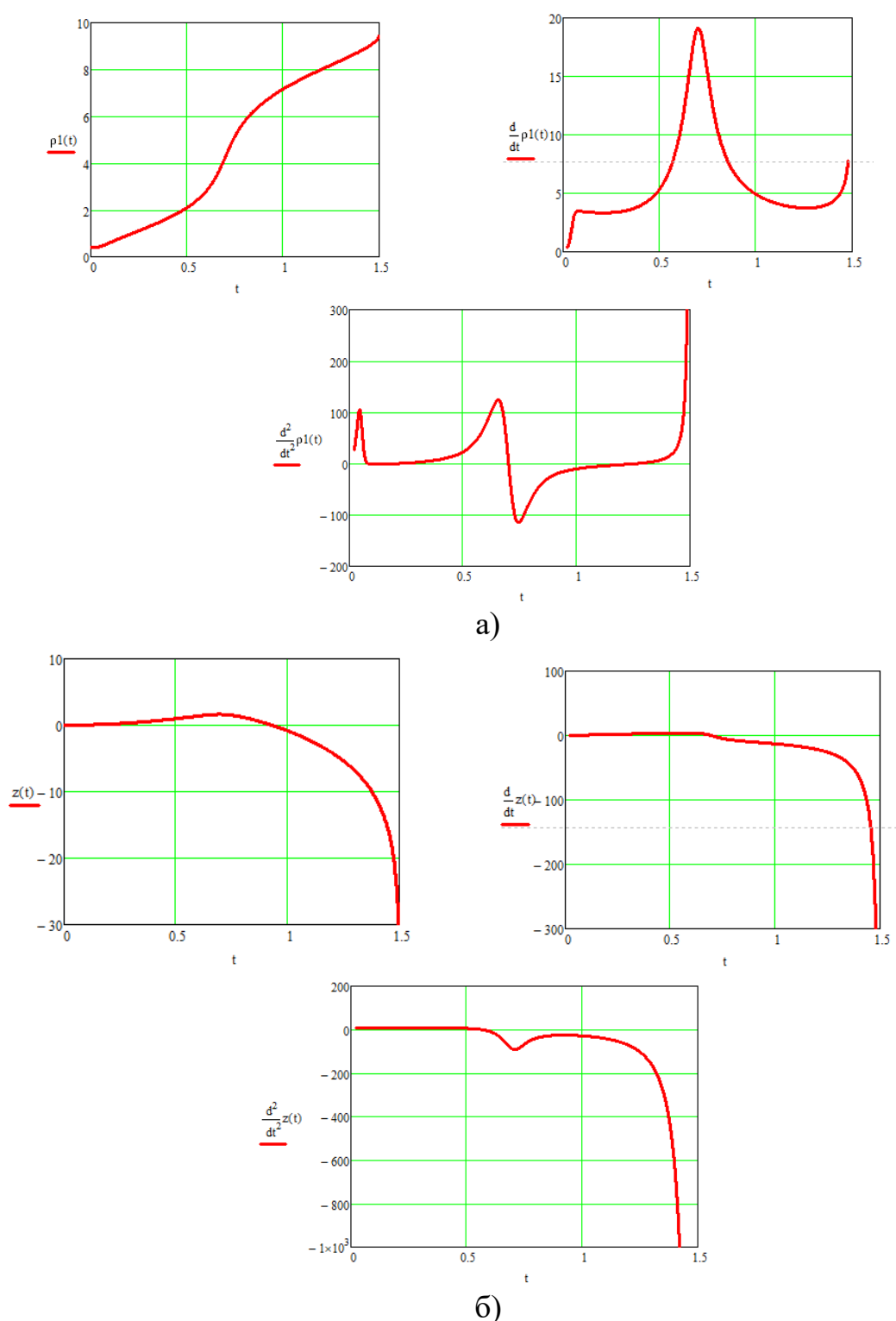


а) $n = 2$ (вгнута); б) $n = 0$ (пряма); в) $n = -0,1$ (конічна).

Рис. 2. Дані для аналізу швидкості руху та траєкторії насінини, яка вводиться без початкової лінійної швидкості і кутової швидкості, рівної за модулем кутовій швидкості обертання за різних форм криволінійних поверхонь розкидача зернових матеріалів

Розрахунки проводилися при різних змінних характеристиках поверхні, початкових кінематичних параметрах і коефіцієнті тертя. На рис. 3 подано приклад даних з результатами розрахунків і графіками зміни траєкторії руху, швидкості та прискорення насінини за циліндричними осями ρ і z .

Аналіз графіків, зображених на рис. 3а і 3б, дозволяє відзначити, що максимальну швидкість насінини досягла за 0,6-0,8 с., перебуваючи на відстані 0,01 м від осі обертання. При цьому подальші зміни швидкості, аж до її сходу з вгнутої поверхні, мали затухаючий гармонійний характер.



а) графіки переміщення, швидкості та прискорення насінини по осі ρ ;
 б) графіки переміщення, швидкості та прискорення насінини по осі z .
 Рис. 3. Приклад результатів розрахунків траєкторії руху насінини та кінематичних показників при $n = 2$

Отже, великий інтерес для подальших досліджень представляють криволінійні поверхні, які мають вгнутий характер і поєднують в собі конічну та вгнуту поверхні. Визначені траєкторії насінин та їх

кінематичні параметри можна використовувати для визначення зв'язку між конструкційними та технологічними параметрами пневмовідцентрового сепаратора, такими як: час перебування насінини на розподільчому розкидачі, швидкість сходу насінини з розкидача, форма лопатей, яка буде використана безпосередньо на розкидачі.

Висновки. Була отримана замкнута система рівнянь з рівнянням зв'язку, що дозволяє моделювати рух насінини по обертовій поверхні, при чисельному інтегруванні якої існує можливість оцінити застосування тієї чи іншої поверхні розкидача пневмовідцентрового сепаратора для досягнення бажаного результату щодо зменшення геометричних розмірів, підвищення продуктивності або поліпшення якості процесу сепарування. Використання методів чисельного інтегрування дозволяє врахувати вплив фізичних, геометричних, технологічних і кінематичних параметрів на вихідний результат, наприклад, такі як час руху, швидкості руху в циліндричних координатах. Таким чином, встановлено, що використання моделювання руху насінини по поверхні розкидача пневмовідцентрового сепаратора дозволяє обґрунтувати раціональні геометричні розміри ротора пневмовідцентрового сепаратора та оптимальні технологічні режими його роботи.

Застосування розкидачів зернового матеріалу в пневмовідцентрових сепараторах з використанням криволінійних поверхонь для прискорення руху насінин є перспективним підходом у галузі післязбиральної обробки. Моделювання руху насінин на таких поверхнях дозволяє прогнозувати їхнє рухоме з повним розумінням впливу різних параметрів на процес його рівномірного розподілу по периметру каналу ротора сепаратора. Використання чисельного інтегрування дозволяє здійснити це в умовах реальних експлуатаційних умов, що безперечно допомагає в оптимізації геометрії розкидача та технологічних параметрів для досягнення найкращих результатів. Такий підхід може сприяти ефективнішому використанню ресурсів та поліпшенню якості обробки зернових матеріалів.

Список використаних джерел

1. Моделювання технологічних процесів в типових об'єктах післязбиральної обробки і зберігання зерна (сепарація, сушіння, активне вентильовання, охолодження): монографія / Б. І. Котов та ін. Ніжин : ПП Лисенко, 2017. 487 с.



2. Котов Б. І. Основи теорії та технології повітряної сепарації зернових матеріалів: монографія / Б. І. Котов, С. П. Степаненко. Київ : ЦП Компрінт, 2023. 427 с.
3. Системне обґрунтування структури та використання технологічних комплексів машин для збирання й післязбиральної обробки врожаю зернових культур: монографія / В. І. Днесь та ін. Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М., 2023. 200 с. <https://doi.org/10.37204/imaap.syst.obgruntuv.struktury>.
4. Пилипака С. Ф., Воліна Т. М., Захарова І. О., Рибенко І. О., Ребрій А. М. Дослідження складного руху точки по площині із застосуванням тригранника і формул Френе. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2023. № 104. С. 171–182. <https://doi.org/10.32347/0131-579x.2023.104.171-182>.
5. Пилипака С. Ф., Несвідомін В. М., Воліна Т. М., Бабка В. М., Грищенко І. Ю. Ковзання частинки по рухомій горизонтальній площині. *Сучасні проблеми моделювання*. 2022. С. 147–155.
6. Ресурсо-енергоєфективні технології та технічні засоби для консервування та обробки вологого фуражного зерна: монографія / С. П. Степаненко, Р. А. Калініченко, Б. І. Котов. Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М., 2023. 128 с.
7. V. Adamchuk, V. Bulgakov, I. Gadzalo, S. Ivanovs, S. Stepanenko, I. Holovach, Y. Ihnatiev. Theoretical Study of Vibrocentrifugal Separation of Grain Mixtures on a Sieveless Seed-cleaning Machine. *Journal of latvia university of life sciences and technologies. Rural sustainability research*. 2021. Vol. 46(341). P. 116–124. <https://doi.org/10.2478/plua-2021-0023>.
8. S. Stepanenko, M. Aneliak, A. Kuzmych, S. Kustov, V. Lysaniuk. Improving the Efficiency of Harvesting Sunflower Seed Crops. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2022. Vol. 67(2). P. 331-340. <https://doi.org/10.35633/inmateh-67-34>.
9. Bredykhin V., Pak A., Gurskyi P., Denisenko S., Bredykhina K. Improving the mechanical-mathematical model of pneumatic vibration centrifugal fractionation of grain materials based on their density. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4(112/1). P. 54–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236938>.
10. Kharchenko S., Borshch Y., Kovalyshyn S., Piven M., Abduev M., Miernik A., Popardowski E., Kielbasa P. Modeling of aerodynamic separation of preliminarily stratified grain mixture in vertical pneumatic separation duct. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11(10). P. 4383. <https://doi.org/10.3390/app11104383>.
11. Aliiev E., Gavrilenko A., Tesliuk H., Tolstenko A., Koshul'ko V. Improvement of the sunflower seed separation process



efficiency on the vibrating surface. *Acta Periodica Technologica*. 2019. Vol. 50. P. 12-22. <https://doi.org/10.2298/apt1950012a>.

12. Котов Б. І., Деревенько В. А., Степаненко С. П. Дослідження ефективності сепарації зернових матеріалів на ступінчасто-конічному решеті вібровідцентрових машин. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2017. Вип. №2(85). С. 99–102.

13. Theory of motion of grain mixture particle in the process of aspiration separation / V. Bulgakov [et al.]. *Agronomy Research*. 2020. 18(S2). P. 1177–1188. <https://doi.org/10.15159/AR.20.069>.

14. Степаненко С. П. Механіко-технологічне обґрунтування процесів і обладнання безрешітного фракціонування зернових матеріалів: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Глеваха, 2020. 50 с.

15. Бредихін В. В. Наукові основи процесів вібропневматичного розділення насіннєвих матеріалів за густиною насіння: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.05.11. Кропивницький, 2024. 48 с.

16. Tatiana Volina, Sergiy Pylypaka, Olexandr Pavlenko, Oleksii Klochko and Iryna Hryshchenko (2021). The transportation of a particle by a vertical auger with a coaxial cylinder which rotate together around the common axis. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2021. Vol. 1164. e012086. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1164/1/012086>.

17. Andrii Lytvynenko, Mykola Yukhymenko, Ivan Pavlenko, Jan Pitel, Jana Mizakova, Olha Lytvynenko, Ruslan Ostroha and Jozef Bocko. Ensuring the Reliability of Pneumatic Classification Process for Granular Material in a Rhomb. *Shaped Apparatus. Appl. Sci.* 2019. Vol. 9. P. 1604. <https://doi.org/10.3390/app9081604>.

18. Ivan Pavlenko, Oleksandr Liaposhchenko, Marek Ochowiak, Radosław Olszewski, Maryna Demianenko, Oleksandr Starynskyi, Vitalii Ivanov, Vitalii Yanovych, Sylwia Włodarczak and Michał Doligalski Three-Dimensional Mathematical Model of the Liquid Film Downflow on a Vertical Surface. *Energies*. 2020. Vol. 13. P. 1938. <https://doi.org/10.3390/en13081938>.

19. Степаненко С. П., Волик Д. А., Котов Б. І., Замрій М. А. Математичне моделювання процесу переміщення зернового матеріалу на поверхні безпротального решета вібропневмоімпульсного сепаратора. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2023. Вип. № 3 (110). С. 22-34. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2023-3-3>.

Стаття надійшла до редакції 05.08.2024 р.



S. Stepanenko¹, B. Kotov², V. Melnyk¹, D. Volyk¹

¹Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production, Ukraine;

²Podillia State University, Ukraine;

MODELING THE PROCESS OF GRAIN MATERIAL MOVEMENT IN THE SEPARATOR'S WORKING ZONE

Summary

Most designs of pneumatic centrifugal and vibro-centrifugal separators feature central axial material feed to the accelerator in the form of a flat disc. However, with this material feed method, the acceleration of particles closest to the axis of rotation is hindered due to the lack of initial velocity and insufficient centrifugal forces to overcome friction, leading to the formation of a stagnation zone and increased costs to mitigate. There are two approaches to solving this issue: feeding the material offset from the axis of rotation, which complicates the design, or using a deflector surface, which is a straight conical surface positioned parallel to the axis of rotation, ensuring the displacement of seed material away from the axis of rotation and imparting initial velocity to them.

A closed system of equations with a coupling equation has been obtained, allowing for the modeling of seed movement on a rotating surface. Numerical integration of this system enables the assessment of the effectiveness of various spreading surfaces in a pneumatic centrifugal separator to achieve desired outcomes, such as reducing geometric dimensions, increasing productivity, or improving separation quality. Numerical integration accounts for the influence of physical, geometric, technological, and kinematic parameters on the final result, including time and speed of movement in cylindrical coordinates. Modeling the movement of seeds on the spreading surface of a pneumatic centrifugal separator justifies the rational geometric dimensions of the rotor and optimal technological operating modes.

The application of seed material spreaders with curved surfaces in pneumatic centrifugal separators for accelerating seed movement is a promising approach in post-harvest processing. Modeling seed movement on such surfaces allows for the prediction of their motion with a comprehensive understanding of the impact of various parameters on the process of uniform distribution around the perimeter of the separator rotor channel. Numerical integration under real operating conditions assists in optimizing the spreader geometry and technological parameters to achieve the best results.

Key words: modeling, separator, movement process, grain material, working element, relative motion equation, surface equation, Lagrange multiplier.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-4

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

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РУХУ САМОХІДНОЇ МАШИНИ З РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ РЕАКТИВНОГО ТИПУ В СИСТЕМІ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Анотація. При використанні робочих органів ґрунтообробних машин, які працюють за принципом вертикального різання ґрунту, виникає реактивна складова дотичної сили тяги, яка має циклічний періодичний характер, що погіршує стійкий рух агрегату. Метою досліджень є забезпечення стійкого руху самохідної машини з робочими органами, які утворюють періодичний циклічний характер реактивної дотичної сили тяги, шляхом обґрунтування оптимальних параметрів і режимів її роботи. Наукова новизна полягає в отриманні закономірності сумарної дотичної складової руху самохідної машини від кількох незалежних впливів реактивних реакції роботи копачів, яка за принципом суперпозиції дозволяє визначити амплітудне підсилення дотичної реактивної реакції копача, та характер згаданого підсилення. Практична цінність досліджень полягає у створенні перспективної самохідної ґрунтообробної машини у складі одноосового енергетичного засобу і с.-г. знаряддя, яке працює за принципом вертикального різання ґрунту. В результаті проведених досліджень встановлено, що при одночасній роботі чотирьох копачів, зміщених на кутову фазу роботи один від одного на 90 град, амплітудне підсилення дотичної реактивної реакції копача змінюється в діапазоні 1...1,5. Циклічний періодичний характер змінювання вертикальної реакції на опорному колесі копача призводить до циклічного періодичного характеру змінювання опору кочення його кочення. В подальших дослідженнях доцільно розглянути динаміку плоско паралельного руху самохідного копача в горизонтальній і вертикальній площині, що дозволить обґрунтувати оптимальні його параметри та режим роботи з позиції стійкості та плавності його руху.

Ключові слова: стійкість руху, самохідна машина, копач, реактивна сила, точне землеробство, принцип суперпозиції.

Постановка проблеми. В умовах сучасного розвитку промисловості та аграрного сектора питання енергозбереження набуває особливої актуальності (1, 2). Зростання вартості енергетичних ресурсів, посилення екологічних стандартів та вимог до



енергоефективності змушує підприємства та аграрні господарства шукати нові підходи до оптимізації споживання енергії (3, 4). Одним із найбільш перспективних напрямків є підвищення енергоефективності машин і агрегатів, що використовуються в технологічних процесах (4, 5).

Машини та агрегати є основними споживачами енергії в більшості виробничих процесів. Їх неефективне використання призводить до значних втрат енергії, що, в свою чергу, збільшує витрати на виробництво і негативно впливає на навколишнє середовище (6, 7). Тому розробка і впровадження енергозберігаючих технологій у цій сфері є важливим завданням, яке має вирішуватися як на рівні окремих підприємств, так і на державному рівні.

Актуальність теми також зумовлена необхідністю забезпечення сталого розвитку, що передбачає раціональне використання природних ресурсів та зниження негативного впливу на екосистеми. В контексті сучасних викликів, таких як глобальне потепління і зменшення доступних енергетичних ресурсів, питання енергозбереження набуває стратегічного значення для економічного розвитку та національної безпеки (8, 9).

Одним із перспективних напрямів створення енергезберігаючих сільськогосподарських машин і агрегатів є використання робочих органів, які працюють за принципом вертикального різання ґрунту (10, 11). При вертикальному різанні вага приводної с.-г. машини використовується для створення сили різання, а реакції опору на ґрунт від цього зменшуються, в граничному випадку – до нуля. Проте, вертикальний обробіток ґрунту потребує більш складних рухів, які повинні відтворюватися циклічно. При комплектуванні такої ґрунтообробної машини з одновісним енергетичним засобом виникає низка не вирішених наукових проблем, які пов'язані з функціонуванням такого типу агрегатів. Тому актуальність питання теоретичних основ руху самохідної машини з робочими органами реактивного типу в системі точного землеробства не підлягає сумніву з кількох ключових причин. По-перше, розвиток точного землеробства, яке базується на використанні сучасних технологій для максимально ефективного використання ресурсів, вимагає застосування високотехнологічних машин, здатних забезпечити високу точність і продуктивність. Самохідні машини з робочими органами реактивного типу здатні виконувати різноманітні агротехнічні операції з мінімальними витратами енергії та високою ефективністю, що робить їх незамінними у сучасному аграрному виробництві. По-друге, використання таких машин сприяє підвищенню якості обробки ґрунту, зменшенню витрат палива та зниженню негативного впливу на навколишнє середовище. Це

особливо важливо в умовах посилення вимог до екологічної безпеки сільського господарства та необхідності збереження родючості ґрунтів. По-третє, теоретичні основи руху самохідних машин з реактивними робочими органами є фундаментом для подальшої розробки і вдосконалення таких машин, а також для створення нових технологій, які можуть бути впроваджені в систему точного землеробства. Знання в цій галузі дозволяють оптимізувати конструкцію і експлуатацію машин, що, в свою чергу, підвищує ефективність всього агропромислового комплексу.

Таким чином, дослідження в цій області має велике значення для розвитку сучасного землеробства, що підкреслює актуальність даної тематики для наукових досліджень і практичної діяльності в аграрному секторі.

Аналіз останніх досліджень.

Нині відомі фрезерні та копальні машини, які застосовуються з легким трактором у агрегаті для основного обробки ґрунту (12, 13). Серед них лопаткові машини для основного обробки ґрунту у порівнянні з іншими знаряддями, мають додаткові переваги, важливі для мостового землеробства, а саме – можливість зменшення матеріалоємності остова агромота за рахунок його розвантаження від тягових зусиль. За рахунок відхилення лінії копання від вертикалі можна отримати складову реакції ґрунту, спрямовану в напрямку руху (13, 14). Саме про такі ґрунтообробні знаряддя говорив академік Л.В. Погорілий (15): «Щоб знизити навантаження на несучі конструкції, доцільно створювати робочі органи реактивного типу, які в якості опорної поверхні використовують оброблюваний ґрунт».



Рис. 1. Схема копача з коливальним рухом робочих органів (VANGATRICI, Італія) (16)

Для агрегатування ґрунтообробної машини з реактивними робочими органами з позиції енергозбереження науковий інтерес представляє складання агрегату на основі одноосьового енергетичного засобу колісної формули 2К2. Свого часу були відомі блоково-модульні енергозасоби типу (ВЕЗ–150) (17) (рис. 2). А також низка жорсткоскладених агрегатів на основі одноосьового трактора колісної

формули 2К2 із двигуном потужністю 22...33 кВт (17). Вони призначені для скорочення ручної праці на малих тваринницьких фермах, в агроцехах, на селекційних і агродослідних ділянках, внутрішньогосподарських перевезеннях, на малих ділянках фермерів, у лісовому господарстві та в інших умовах, де великогабаритні енергетичні засоби застосовувати складно або економічно недоцільно.

У результаті жорсткого з'єднання трактора з колісною формулою 2К2 з модулями різного призначення можна одержати наступні МТА: транспортний, транспортно-технологічний, самохідні шасі, універсальний трактор з колісною формулою 4К4, самохідний комбайн, кормороздавальний агрегат, навантажувач (рис. 2.18) та ін. (17). Залежно від числа ведучих осей (одна або дві) номінальне тягове зусилля жорсткоскладених агрегатів становить 6 або 12 кН (17).

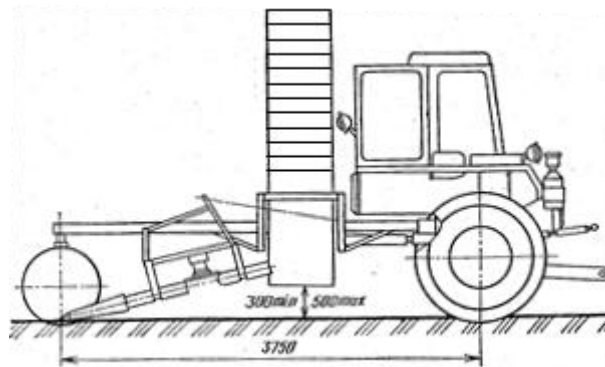


Рис. 2. Компонувальна схема сільськогосподарського агрегату на базі енергетичного засобу ВЕЗ–150 (17)

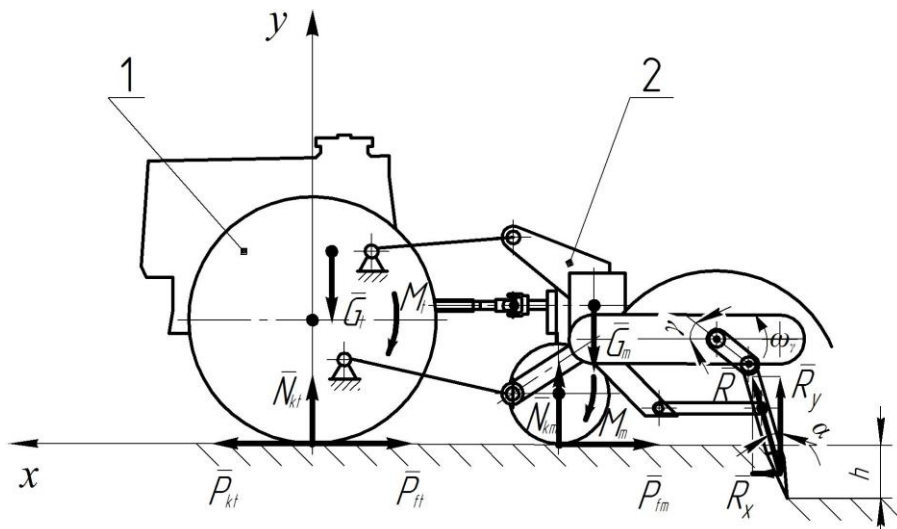
Випробування у виробничих умовах макетних і дослідних зразків деяких з перерахованих агрегатів показали, що їхнє застосування в багатьох випадках дозволяє скоротити номенклатуру машин і обладнання, знизити загальну метало- і енергоємність, підвищити продуктивність праці (18, 19).

Вченими достатньо опрацьовані механіко-технологічні основи використання блоково-модульних агрегатів (20, 21). Але використання реактивного типу робочих органів циклічної дії науковцями практично не розглядалося. Причиною цього була не востребуваність такого типу с.-г. машин і агрегатів у фермерів, через широке використання мотоблоків на малих фермерських підприємствах. Але, останні тенденції роботизації с.-г. виробництва, перехід на концепцію точного землеробства, енергозберігаючі принципи створення машин висувують питання обґрунтування схеми та параметрів вказаних агрегатів на перший план.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою досліджень є підвищення ефективності агрегатування одновісних

енергетичних засобів з с.-г. машинами, які працюють за принципом вертикального різання ґрунту реактивними робочими органами в системі точного землеробства, шляхом обґрунтування схеми і параметрів агрегатів, побудованих на їх основі.

Основна частина. Для проведення теоретичних досліджень ґрунтообробну самохідну машину у складі одноосового енергетичного засобу і с.-г. знаряддя з робочими органами реактивного типу, що рухається по опорній поверхні агрофону представимо у вигляді еквівалентної схеми, на якій відобразимо діючі на нього сили (рис. 3).



1 – одноосовий енергетичний засів; 2 – с.-г. знаряддя з робочими органами реактивного типу

Рис. 3. Ґрунтообробна самохідна машина

Робочий процес самохідної машини типу «копач» (див. рис. 3) є аналогією копання ґрунту лопатою вручну. Через це будова ґрунтообробної машини 2 (рис. 3) містить лопатки, які закріплені до його кривошипного механізму, обертальний рух якого з частотою ω_y відбувається від валу відбору потужності енергетичного засобу 1 (рис. 3). В процесі роботи самохідної машини леза лопаток копача циклічно входять в ґрунт на глибину h , відрізають пласт ґрунту і відкидають назад по ходу руху машини. Колінчастий вал копача розміщений перпендикулярно до напрямку руху, декілька кривошипів розміщені з постійним кроком. Занурення лопаток відбувається під постійним кутом α , та супроводжується невеликим зміщенням лопатки по дузі для запобігання зминання ґрунту тильною частиною лопатки. Після досягнення необхідної глибини лопатка рухається по пологій кривій, відриваючи і відкидаючи пласт ґрунту.

Для вирішення поставленого завдання розглянемо сили, які діють на самохідну машину в поздовжньо-вертикальній площині. При цьому

машину приймемо, як фізичне тверде тіло, яке має подовжню площину симетрії, що проходить через центр його мас. З агрегатованою з ним с.-г. знаряддям представимо його на розрахунковій схемі у вигляді плоскої еквівалентної моделі (рис. 3). Робочі органи с.-г. знарядь на еквівалентній схемі самохідної машини представимо проекцією однієї лопатки, в якій зосереджені рівнодіюча їх тягового опору. Агрегатується с.-г. знаряддя з одновісним енергетичним засобом за допомогою центральної і нижніх тяг його навісного пристрою. Всі опорні колеса, які може мати с.-г. знаряддя на схемі представимо одним еквівалентним опорним колесом (рис. 3).

З рис. 3 випливає, що на самохідну машину діють, перш за все, дотичні сили тяги, які розвивають рушії енергетичного засобу P_{kt} , і спрямована в напрямку руху складова R_x реакції ґрунту R , через відхилення лінії копання від вертикалі на кут α . Також діють сили опору кочення енергетичного засобу P_{ft} і опорних катків с.-г. знаряддя P_{fm} . Сили тяжіння енергетичного засобу G_t , яка зосереджена в центрі його мас, і, відповідно, сила тяжіння с.-г. знаряддя G_m . Вказаним силам відповідають реакції опору N_{kt} в точках контакту рушіїв енергетичного засобу з ґрунтом, і, відповідно N_{km} с.-г. знаряддя. Також на самохідну машину діє вертикальна складова R_y реакції різання ґрунту, яка зменшує реакції опор на ґрунт від цього.

Зрозуміло, що через роботу кривошипного механізму копача процес вертикального обробітку ґрунту є періодичним, з характерними робочими і холостими циклами. В робочому циклі лопатка копача занурюється в ґрунт. На цьому етапі через відхилення лінії копання від вертикалі на кут α утворюється реактивна складова R_x , що є складовою дотичної сили тяги машини, і реакція R_y , яка зменшує навантаження на його опорні колеса. На холостому етапі після виглиблення з ґрунту лопатка копача знаходиться в процесі її переміщення кривошипним механізмом машини до робочого етапу.

Внаслідок наявних періодичних етапів в робочому процесі копача реактивна складова R_x утворює певні штовхальні дії, а періодичні розвантаження опорних коліс с.-г. знаряддя, через дію реакції R_y , утворюється нерівномірний опір кочення самохідної машини. В ідеальному випадку бажано мати постійну реактивну дію від роботи копача при щонайменшому опорі його кочення. Зрозуміло, що низка лопаток копача, розміщена в один рядок, цього не забезпечить. Лопатки або їх рядки повинні бути розміщені на копачу з певною фазою кутового зміщення один відносно іншого.

З еквівалентної схеми випливає, що при використанні декількох робочих органів, або рядків робочих органів, зміщених один від одного за циклом роботи на кутову фазу $\Delta\gamma_i$, за принципом суперпозиції результуючий ефект кількох незалежних впливів

реактивних реакції R_{xi} буде дорівнювати сумі цих реакцій, що викликаються кожним впливом окремо. Математично за наведеною схемою на рис. 3 це може бути представлено наступним виразом:

$$R_{x\Sigma} = R_{x1} \cdot \sin \alpha \cdot \sin \gamma + R_{x2} \cdot \sin \alpha \cdot \sin(\gamma + \Delta\gamma_2) + \dots + R_{xi} \cdot \sin \alpha \cdot \sin(\gamma + \Delta\gamma_i), \quad (1)$$

де $R_{x\Sigma}$ – сумарна дотична складова від кількох незалежних впливів реактивних реакції роботи копачів;

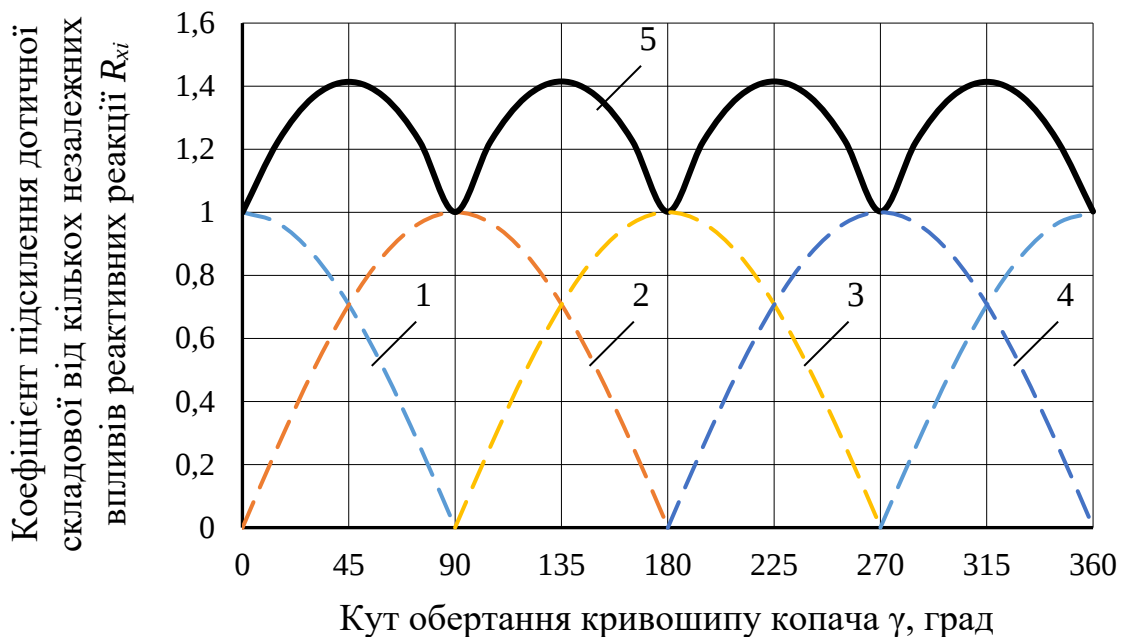
R_{xi} – реактивна реакція від i -го копача;

α – кут відхилення лінії копання від вертикалі;

γ – кут обертання кривошипу копача;

$\Delta\gamma_i$ – кутова фаза зміщення роботи i -го копача за циклом роботи на кутову фазу.

Як було зазначено раніше, з позиції сталої реактивної дії від вертикального реакції ґрунту при роботі копача, бажано, щоб результуюча реактивна реакція була постійною, або наближалася до неї, тобто $R_{x\Sigma} \rightarrow \text{const.}$ Забезпечити вказану умову можна, якщо фазний кутовий зсув розміщення лопаток буде наближатися до нуля $\Delta\gamma_2 \rightarrow 0$.



1 – дія першого копача; 2 – дія другого копача, зміщеного на кутову фазу 90° ; 3 – дія третього копача, зміщеного на кутову фазу 180° ; 4 – дія четвертого копача, зміщеного на кутову фазу 270° ; 5 – амплітудне підсилення дотичної складової від усіх незалежних впливів реактивних реакції R_{xi}

Рис. 4. Результуючий ефект коефіцієнту підсилення дотичної складової від кількох незалежних впливів реактивних реакції R_{xi} копача впродовж періоду роботи повного циклу копача:

Останню умову практично реалізувати можна, якщо кількість лопаток, або рядків буде прагнути до нескінченності $i \rightarrow \infty$. Останнє пояснимо на графічній залежності (рис. 4).

З аналізу рис. 4 випливає, що циклічність роботи одного копача не забезпечить сталість реактивної дотичної сили тяги самохідному копачу. Така ж ситуація спостерігається при використанні два та три копачів, зміщених по фазі циклу роботи на $360/3 = 120^\circ$. І тільки використання чотирьох копачів, зміщених по фазі циклічності роботи на $360/4 = 90^\circ$ маємо сталість реактивної дотичної сили при роботі копачів. Водночас, за принципом суперпозиції вказана сталість реактивної сили не буде постійною. Амплітудне її значення в залежності від положення робочого органу копача змінюється в діапазоні 1...1,5. Це також гіпотетично може призводити до погіршення стійкості руху самохідного копача при його плоскопаралельному русі в горизонтальній площині. Але, через інерційність копача та суттєву не рівність реактивної реакції копача з дотичною силою тяги енергетичного засобу цей недолік може мати не суттєвий вплив на його погіршення стійкості руху. Для більш предметного аналізу вказаного явища необхідно провести спеціальні дослідження динаміки плоскопаралельного руху самохідного копача в горизонтальній площині.

Водночас, побудована залежність на рис. Дозволяє зробити висновок про те, що зміщення кутової фази $\Delta\gamma_i$ при використанні декількох робочих органів копачів на самохідному копачі повинна визначатися за виразом

$$\Delta\gamma_i = \frac{360}{i}, \quad (2)$$

i – кількість копачів (або рядків копачів), зміщених за кутової фази на $\Delta\gamma_i$.

Через дію вертикальної реакції R_y копача у вертикальній площині реакція N_{km} на його опорному колесі дорівнюватиме за рис. :

$$N_{km} = G_m - R_y, \quad (3)$$

Де N_{km} – вертикальна реакція на опорному колесі копача;

G_m – вага копача;

R_y – вертикальна реакція копача у вертикальній площині.

Через аналогічну за рис. 4 циклічність дії реакції R_y на самохідний копач значення вертикальної реакції N_{km} на його опорному колесі також буде мати циклічний періодичний характер.

Опір кочення копача визначається за вертикальною реакцією N_{km} :

$$P_{fm} = f \cdot N_{km}, \quad (4)$$

де f – коефіцієнт опору кочення колеса самохідного копача по ґрунту.

Враховуючи циклічний періодичний характер значення вертикальної реакції N_{km} за виразом (3) також будемо мати циклічний періодичний характер значення опору кочення P_{fm} . Тому для більш детального вивчення цього явища доцільно розглянути динаміку плоско паралельного руху самохідного копача в горизонтальній площині.

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено, що через циклічний характер роботи копачів на самохідній машині сумарна дотична реактивна реакція розраховується за принципом суперпозиції. Аналіз якого показав, що при одночасній роботі чотирьох копачів, зміщених на кутову фазу роботи один від одного на 90 град, амплітудне підсилення дотичної реактивної реакції копача змінюється в діапазоні 1...1,5. Це може призвести до погіршення стійкості руху самохідного копача при його плоско паралельному русі в горизонтальній площині.

Циклічний періодичний характер змінювання вертикальної реакції на опорному колесі копача призводить до циклічного періодичного характеру змінювання опору кочення його кочення, що також призводить до погіршення стійкості руху самохідної машини.

В подальших дослідженнях доцільно розглянути динаміку плоско паралельного руху самохідного копача в горизонтальній і вертикальній площині, що дозволить обґрунтувати оптимальні його параметри та режим роботи з позиції стійкості та плавності його руху.

Список використаних джерел

1. Derevjanko D., Holovach I., Bulgakov V., Kuvachov V. та ін. Theoretical and experimental research into impact of threshing tools in combine grain harvesters on quality of cereal crop seeds. *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18(2). P. 393–403.
2. Bonneton A., Hartmann C., Blanchart E. and other. Consequences of two tillage systems on Vertisol evolution and on working costs. *Soil congress*. 2000. 126 p.
3. 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. 1. XXXI. P. 3–9.
4. 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. 1. XXXI. P. 10–16.
5. Juzwik J. Incorporation of tracers and dozomet by rotary tillage and spading machines. *Soil and Tillage Research*. 1997. № 41. P. 237–248.



6. Bulgakov V., Olt J., Kuvachov V. Theory of smoothness of movement of multiple-axle agricultural combined tractor-implement units. *"Intelligent Manufacturing & Automation: Proceedings of the 31st International DAAAM Symposium (21st-24th October 2020)*. 2020. P. 0056–0065.
7. Ivanovs S., Bulgakov V., Kaletnik H., Kuvachov V. [et al.] Experimental checking of mathematical models describing the functioning adequacy of bridge systems in agricultural track system. *INMATEH-Agricultural Engineering*. 2020. Vol. 62(3). P. 107–114.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Головач І. В., Кувачов В. П. [та ін.]. Аналітичне дослідження ударної взаємодії вібраційного копача з тілом коренеплоду при його вилученні з ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 11. С. 45–53.
12. 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.
13. Bulgakov V., Ivanovs S., Kuvachov V. Experimental investigations in vertical vibration damping of agricultural aggregate of block-modular type. *Proceeding 20th International Scientific Conference engineering for rural development (Jelgava, 26.-28.05.2021)*. 2021. P. 635–642.
14. Bulgakov V., Ivanovs S., Santoro F., Kuvachov V. Operational and technological properties of ploughing block-modular machine-and-tractor aggregate. *Proceeding 20th International Scientific Conference engineering for rural development (Jelgava, 26.-28.05.2021)*. 2021. P. 650–656.
15. 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.



16. Технічна характеристика. URL: <http://www.falc.eu/ru/prodotti/vangatrici/panda.php> (дата звернення 18.08.2024).
17. Надикто В. Т., Кюрчев В. М., Кувачов В. П. Використання техніки в АПК: підручник. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. 268 с.
18. 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.
19. 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.
20. Beloev H., Bulgakov V., Adamchuk V., Kuvachov V. та ін. Research and justification of running wheels tire parameters of bridge-type transport energy vehicle. *AIP Conference Proceedings*. 2022. № 2570. e040009..
21. Булгаков В. М., Адамчук В. В., Кувачов В. П., Результаты экспериментальных исследований блоково-модульного сільськогосподарського агрегату. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 7 (820). С. 49–58.

Стаття надійшла до редакції 26.08.2024 р.

V. Kuvachov, V. Druzhych, S. Shevchenko, K. Zelenov
Dmytro Motornyi Tavria State Agrrotechnological University

**THEORETICAL BASICS OF MOVEMENT OF A SELF-PROPELLED
MACHINE WITH WORKING BODIES OF THE JET TYPE
IN THE PRECISION AGRICULTURE SYSTEM**

Summary

When using the working bodies of soil tillage machines, which work according to the principle of vertical cutting of the soil, a reactive component of the tangential traction force occurs, which has a cyclic periodic character, which worsens the stable movement of the unit. The purpose of the research is to ensure stable movement of a self-propelled machine with working bodies that form a periodic cyclic nature of the reactive tangential traction force, by substantiating the optimal parameters and modes of its operation. The scientific novelty consists in obtaining the regularity of the total tangential component of the movement of a self-propelled machine from several independent influences of reactive reactions of the digger's work, which, based on the principle of superposition, allows determining the amplitude amplification of the tangential reactive reaction of the digger, and the nature of the said amplification. The practical value of the research lies in the creation of a promising self-propelled soil tillage machine as part of a single-axis power tool and agricultural machinery, a tool that works on the principle of vertical cutting of the soil. As a result of the conducted research, it was established that during the simultaneous operation of four diggers, shifted to the angular phase of work from each other by 90 degrees, the amplitude



amplification of the tangential reactive response of the digger varies in the range of 1...1.5. The cyclic periodic nature of the change in the vertical reaction on the support wheel of the digger leads to the cyclic periodic nature of the change in the rolling resistance of its rolling. In further research, it is advisable to consider the dynamics of plane-parallel movement of a self-propelled digger in the horizontal and vertical planes, which will allow to substantiate its optimal parameters and mode of operation from the standpoint of stability and smoothness of its movement.

Key words: stability of motion, self-propelled machine, digger, reactive force, precision farming, principle of superposition.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-5

УДК 631.56:681.7

С. П. Степаненко, д.т.н.,

ORCID: 0000-0002-8331-4632

А. Я. Кузьмич, к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-3102-0840

В. О. Швидя, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-8113-2173

*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України*

e-mail: stepanenko_s@ukr.net

ІННОВАЦІЙНІ ОПТИЧНО-ЕЛЕКТРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ ШВИДКОГО АНАЛІЗУ ЗЕРНА В ГАЛУЗІ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ

Анотація. Розроблено функціональні схеми та проведено аналіз трьох варіантів запропонованого експрес-аналізатора якості насіння. Основою роботи аналізатора якості насіння є принцип розподілу насіння за їх спектральними характеристиками, отриманими як у відбитому від захисної оболонки світловому потоці, так і у світловому потоці, що пройшов через насініну.

Поеднання оптичних технологій з мікропроцесорними системами дало змогу розробити кілька варіантів конструкцій оптичних аналізаторів для насіння сільськогосподарських культур. Дані конструкції, по-перше, забезпечують високоякісний і швидкий аналіз насіння; по-друге, мають просту конструкцію без рухомих частин і механізмів; по-третє, гарантують ефективність використання (застосування) в польових та виробничих умовах.

Інтеграція оптичних технологій з мікропроцесорними системами відкрила можливість розробки декількох варіантів оптичних аналізаторів для насіння сільськогосподарських культур. Ці аналізатори, по-перше, забезпечують швидкий і точний аналіз насіння; по-друге, вирізняються простою конструкцією, яка не містить рухомих частин або механізмів; по-третє, вони відзначаються ефективністю в польових і виробничих умовах.

Ці характеристики роблять оптичні аналізатори надзвичайно привабливими для широкого застосування в аграрному секторі. Відсутність рухомих частин підвищує надійність і знижує витрати на обслуговування, що є суттєвою перевагою в умовах обмеженого бюджету. Швидкий і точний аналіз насіння дозволяє оперативно приймати рішення, що особливо важливо під час сезонних робіт. З урахуванням розвитку цифрових технологій, подальше вдосконалення таких аналізаторів може призвести до створення ще більш компактних і доступних пристроїв, що розширить їх використання навіть серед дрібних фермерів.

Можна зазначити, що використання дифракційних решіток може суттєво зменшити габарити пристрою, що підвищить його зручність та універсальність.

Ключові слова: оптичні технології, зерновий матеріал, спектральні характеристики, аналізатор насіння, післязбиральна обробка.



Постановка проблеми. На сьогодні у галузі післязбиральної обробки зерна для підготовки насіння до посіву або зберігання застосовуються сепаратори, які сортують насіння за кількісними характеристиками [1]. Такий спосіб сортування може призводити до надмірної генетичної диференціації насіння [2]. Водночас сучасні тенденції в насінництві вимагають безконтактного контролю якості насіння як основного напрямку сортування [3].

Вибір якісного показника сортування зумовлений достовірною різницею в темпах зростання насінин сільськогосподарських культур різних кольорових сортів, оскільки забарвлення добре відтворюване і генетично стабільне. Зараз вибір кольору насінневої оболонки у більшості досліджень проводиться органолептичним методом. Такий підхід є вкрай суб'єктивним і потребує перегляду.

У зв'язку з цим у статті розглядається технологія сортування насіння за спектрометричними параметрами, яка заснована на принципах фотоніки. Реалізація цих принципів втілена у функціональному проектуванні ряду нових оптоелектронних систем для експрес-аналізу зернових матеріалів. Конструкції запропонованих пристроїв модульні, мобільні, енергоефективні, точні, швидкі, прості у використанні та екологічно безпечні, що дозволяє здійснювати експрес-аналіз насіння з високою швидкістю та якістю.

Аналіз останніх досліджень.

Як показує аналіз наукових публікацій, на сьогодні у галузі післязбиральної обробки зерна для підготовки насіння до посіву або довгострокового зберігання використовуються решітні, пневматичні, комбіновані та інші види сепараторів, які сортують насіння за кількісними характеристиками [1, 4-15]. Проте в межах одного виду сільськогосподарської культури спостерігається варіабельність розмірів насіння через екологічні чинники, що впливають на розвиток насіння, та природну генетичну варіабельність.

Оскільки відхилення у розмірах і формі насіння є генетичним різноманіттям, класифікація насіння за кількісними ознаками може призвести до надмірної генетичної диференціації та втрати генетичного різноманіття всередині кожної насінневої фракції [2]. У зв'язку з цим одним з ефективних способів підвищення посівних якостей насіння є їх розподіл на передпосівному етапі (стадії поділу насіння на фракції) за забарвленням, тобто спектральними характеристиками захисної оболонки [3].

Це обумовлено тим, що:

- ознаки забарвлення насіння мають високу відтворюваність оцінок (низьку похибку ідентифікації) генетичних характеристик сільськогосподарської культури [16];



- забарвлення насіння залежить від кількості та локалізації феноловмісних пігментів у шарах захисної оболонки насінини [17];
- колір насіння індивідуальний і спадково обумовлений [18];
- колір насіння є основним критерієм для візуального сортування [19];
- диференціація інтенсивності росту насіння сільськогосподарської культури з різними кольоровими сортами насіння забезпечує значну економію дорогого репродуктивного матеріалу [18] тощо.

Наразі кольорова класифікація насіння зазвичай базується на оцінці кольору домінуючого пігменту, точність виділення якого залежить від індивідуальних особливостей зорового сприйняття дослідника [20].

Очевидно, що така суб'єктивність якісного розподілу суттєво знижує його ефективність. Це призвело до необхідності створення автоматичних аналізаторів забарвлення насіння, найбільш характерними з яких є пристрої, описані в [21].

Недоліками цих схем є висока складність і труднощі технічної експлуатації, зумовлені складністю та труднощі налаштування оптичної системи, необхідністю забезпечення високих швидкостей обертання дзеркальної призми (або дзеркала), труднощами в налаштуванні пристрою для зчитування та обробки зображень тощо, а також низька якість аналізу насіння через обмежену роздільну здатність відеокамери з лінійним відео сенсором.

Крім того, також слід відмітити, що існуючі аналізатори забарвлення насіння неможливо використовувати в польових умовах через зазначені недоліки. Це призводить до необхідності розробки аналізатора насіння, який, по-перше, забезпечує якісний оперативний аналіз, а по-друге, конструкційно простий (зокрема, не має рухомих частин і механізмів), що дозволить ефективно використовувати його в польових умовах.

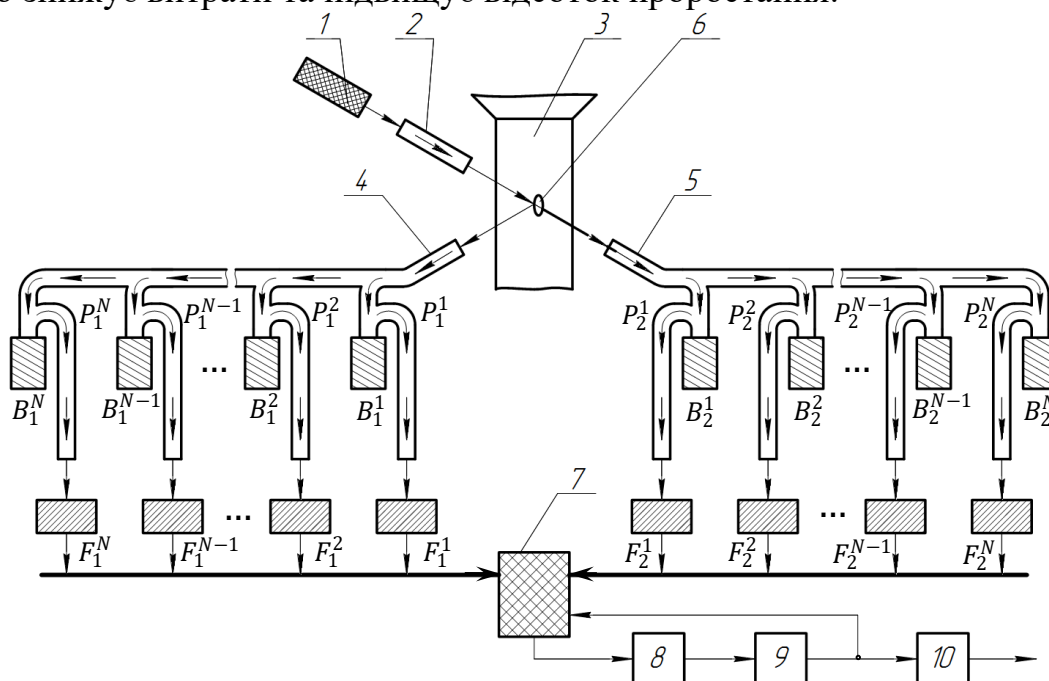
Формулювання мети статті. Проаналізувати оптично-електронні технології швидкого аналізу зернових матеріалів та розробити схеми аналізаторів для насіння сільськогосподарських культур.

Матеріали, методи та об'єкти дослідження. Використано методи аналізу, синтезу, моделювання технічних систем. Об'єктами дослідження є оптично-електронні технології швидкого аналізу зерна.

Основна частина. Для розв'язання поставленого завдання розглянемо нижче схему та будову запропонованого експрес-аналізатора якості насіння, функціональна схема якого наведена на рис. 1. Основою роботи аналізатора якості насіння є принцип розподілу насіння за їх спектральними характеристиками,

отриманими як у відбитому від захисної оболонки світловому потоці, так і у світловому потоці, що пройшов через насінину. У дослідженнях [22-23] показано, що ефективність оцінки якості насіння значно підвищується завдяки тому, що:

- вплив на насіння є неінвазивним;
- аналіз спектрів з характерними зонами дозволяє швидко оцінювати життєздатність насіння;
- з достатньою точністю можна встановлювати походження насіння;
- процес аналізу кожного насіння триває дуже короткий час, що зменшує витрати на тестування;
- досягнута якість насіння робить його підходящим для посіву, що знижує витрати та підвищує відсоток проростання.



1 – джерело поліхроматичного випромінювання; 2 – оптичний хвилевід; 3 – прозорий трубопровід; 4, 5 – N -вихідні оптичні розгалужувачі; 6 – насінина; 7 – мультиплексор; 8 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 9 – мікропроцесор; 10 – блок відображення даних, який може бути реалізований, наприклад, у вигляді принтера або дисплея; $P_1^1; P_1^2; \dots P_1^{N-1}; P_1^N$ – перша група оптичних Y -розгалужувачів; $B_1^1; B_1^2; \dots B_1^{N-1}; B_1^N$ – перша група оптичних брегівських решіток; $F_1^1; F_1^2; \dots F_1^{N-1}; F_1^N$ – перша група фотоприймачів; $P_2^1; P_2^2; \dots P_2^{N-1}; P_2^N$ – друга група оптичних Y -розгалужувачів; $B_2^1; B_2^2; \dots B_2^{N-1}; B_2^N$ – друга група оптичних брегівських решіток; $F_2^1; F_2^2; \dots F_2^{N-1}; F_2^N$ – друга група фотоприймачів.

Рис. 1. Схема аналізатора якості насіння

Представлена на рис. 1 запропонована схема аналізатора якості насіння працює наступним чином:

1. Насіння для аналізу подається через вертикально розташований прозорий трубопровід.

2. Поліхроматичний світловий потік, який виходить з джерела поліхроматичного випромінювання і містить набір частот у визначеному діапазоні, направляється на вхід оптичного хвилеводу. З виходу даного хвилевода світловий потік через прозору стінку трубопроводу потрапляє на поверхню насіння. Відбите від насіння світло потрапляє на вхід N-вихідного оптичного розгалужувача 4, а світловий потік, що пройшов через насінину, або заломився під певним кутом, надходить на вхід N-вихідного оптичного розгалужувача 5.

3. З виходів оптичного розгалужувача 4 світлові потоки направляються через першу групу оптичних Y-розгалужувачів $P_1^1; P_1^2; \dots P_1^{N-1}; P_1^N$ до оптичних берегівських решіток $B_1^1; B_1^2; \dots B_1^{N-1}; B_1^N$, кожна з яких відбиває світловий потік у своєму вузькому спектральному діапазоні. Відбиті від оптичних берегівських решіток $B_1^1; B_1^2; \dots B_1^{N-1}; B_1^N$ світлові потоки з різними довжинами хвиль надходять до входів відповідних оптичних Y-розгалужувачів $P_1^1; P_1^2; \dots P_1^{N-1}; P_1^N$, де через другорядні розгалуження ці потоки направляються до фотоприймачів $F_1^1; F_1^2; \dots F_1^{N-1}; F_1^N$. Кожен фотоприймач $F_1^i, (i = 1, \dots, N)$ налаштований на прийом світлового випромінювання в діапазоні, який відповідає відбиттю конкретної оптичної берегівської решітки $B_1^i, (i = 1, \dots, N)$.

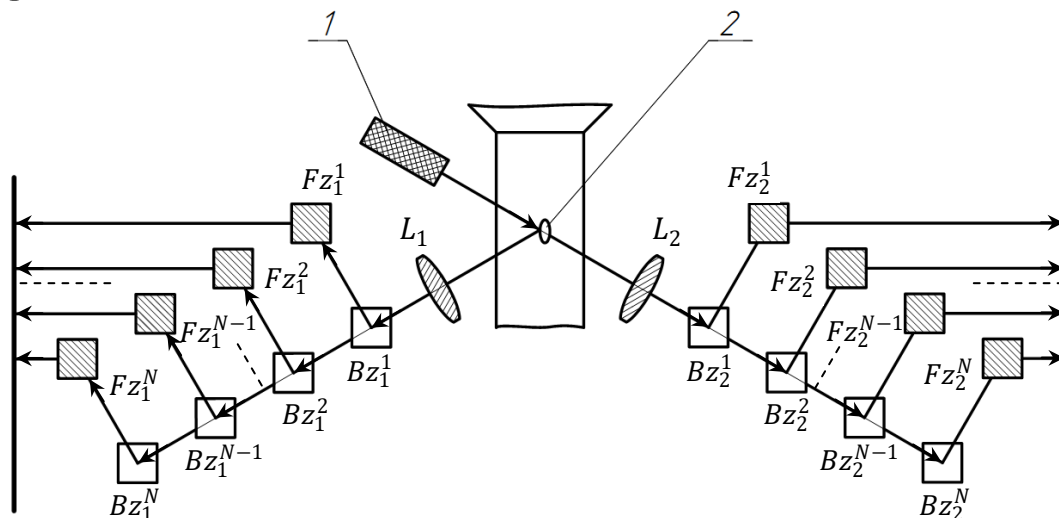
4. Подібним чином, з виходів оптичного розгалужувача 5 світлові потоки проходять через перші оптичні розгалуження Y-розгалужувачів $P_2^1; P_2^2; \dots P_2^{N-1}; P_2^N$ до оптичних берегівських решіток $B_2^1; B_2^2; \dots B_2^{N-1}; B_2^N$. Відбиті від оптичних берегівських решіток $B_2^1; B_2^2; \dots B_2^{N-1}; B_2^N$ світлові потоки з різними довжинами хвиль потрапляють на входи відповідних оптичних Y-розгалужувачів $P_2^1; P_2^2; \dots P_2^{N-1}; P_2^N$. З виходів другорядних розгалужень ці потоки потрапляють до фотоприймачів $F_2^1; F_2^2; \dots F_2^{N-1}; F_2^N$. Кожен фотоприймач $F_2^i, (i = 1, \dots, N)$ налаштований на прийом світлового випромінювання в діапазоні, що відповідає відбиттю оптичних берегівських решіток B_2^i .

5. З виходів фотоприймачів $F_1^1; F_1^2; \dots F_1^{N-1}; F_1^N$ та $F_2^1; F_2^2; \dots F_2^{N-1}; F_2^N$ електричні сигнали, пропорційні інтенсивності отриманих світлових потоків, надходять на $2N$ входів мультіплексора, комутацію (опитування) якого контролює мікропроцесор.

6. З виходу мультиплексора аналоговий сигнал надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача. З виходу аналого-цифрового перетворювача двійковий код потрапляє на вхід мікропроцесора, який обробляє інформацію, отриману від фотоприймачів $Fz_1^1; Fz_1^2; \dots Fz_1^{N-1}; Fz_1^N$ та $Fz_2^1; Fz_2^2; \dots Fz_2^{N-1}; Fz_2^N$ – спектральні характеристики світла, що відбилося від насіння і пройшло через нього. На основі аналізу спектральних характеристик мікропроцесор формує дані аналізу якості насіння, які потім передаються на блок відображення даних.

Така схема аналізатора відповідає всім вимогам, що були зазначені раніше, тобто: компактність, простота, висока швидкість роботи і можливість проведення точного аналізу характеристик насіння завдяки реалізації в мікропроцесорі, який реалізує алгоритми аналізу практично будь-якої складності.

У наведеній схемі для спектрального аналізу характеристик насіння використовуються оптичні брегівські решітки. Їхня перевага полягає в тому, що вони мають вузький спектральний діапазон відбиття світла, що забезпечує високу точність аналізу. Проте їх вартість є відносно високою.



1 – джерело поліхроматичного випромінювання; 2 – насінина;
 L_1, L_2 – фокусувальні лінзи; $Bz_1^1, Bz_1^2, \dots Bz_1^{N-1}, Bz_1^N$ – перша група N брегівських дзеркал; $Fz_1^1, Fz_1^2, \dots Fz_1^{N-1}, Fz_1^N$ – перша група N фотоприймачів; $Bz_2^1, Bz_2^2, \dots Bz_2^{N-1}, Bz_2^N$ – друга група N брегівських дзеркал; $Fz_2^1, Fz_2^2, \dots Fz_2^{N-1}, Fz_2^N$ – друга група N фотоприймачів.

Рис. 2. Оптиелектронна система аналізатора якості насіння на брегівських дзеркалах

У схемі, показаній на рис. 1, розгалуження оптичних потоків в N -вихідних оптичних розгалужувачах 4 і 5 призводить до значного

ослаблення сигналів, що відбиваються від насіння і проходять крізь нього. Це вимагає використання фотоприймачів з високою чутливістю, що збільшує вартість обладнання. Ці проблеми можна вирішити, замінивши брегівські решітки на брегівські дзеркала, хоча це призведе до збільшення розмірів пристрою. Зміни в оптичній системі аналізатора показані на рис. 2.

Підключення виходів фотоприймачів та інші компоненти цієї системи аналогічні тим, що представлені на рис. 1.

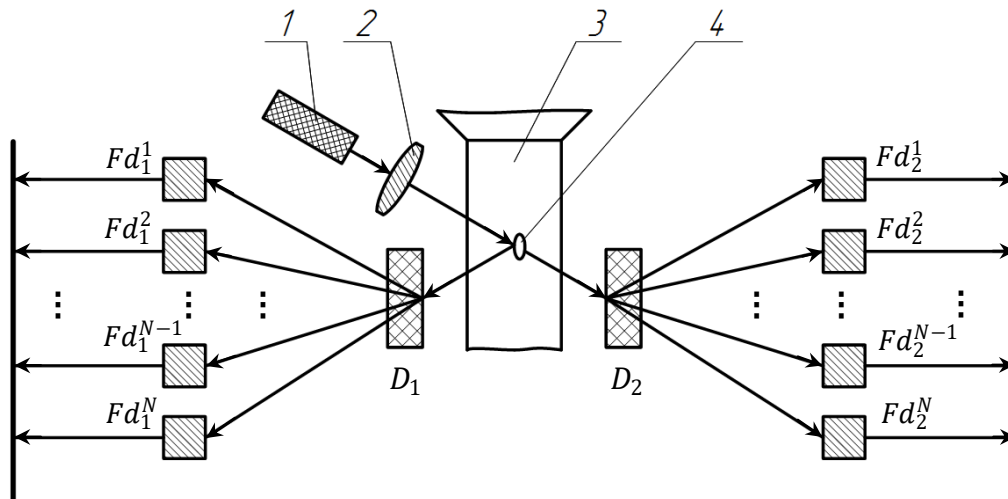
Як і в попередньому аналізаторі, поліхроматичний світловий потік, що містить набір частот у заданому діапазоні, надходить від джерела поліхроматичного випромінювання через прозору стінку трубопроводу на насіння. Відбитий від насіння світловий потік проходить через фокусувальну лінзу L_1 і потрапляє до першого брегівського дзеркала Bz_1^1 . Оскільки кожне брегівське дзеркало відображає світло в своєму вузькому спектральному діапазоні, частина світлового потоку, яка не попадає в цей діапазон, проходить через вихід відповідного дзеркала першої групи (і поглинається на виході брегівського дзеркала Bz_1^i). Відбиті від брегівських дзеркал $Bz_1^1; Bz_1^2; \dots Bz_1^{N-1}; Bz_1^N$ світлові потоки з різними довжинами хвиль надходять до відповідних фотоприймачів $Fz_1^1; Fz_1^2; \dots Fz_1^{N-1}; Fz_1^N$. Важливо зазначити, що в цій системі не відбувається ослаблення оптичного сигналу через його розгалуження в оптичних хвилеводах, як це було показано на рис. 1.

Світловий потік, що пройшов через насіння, потрапляє через другу фокусувальну лінзу L_2 на вхід брегівського дзеркала Bz_2^1 . Частина світлового потоку, яка не попадає в спектральний діапазон цього дзеркала, проходить через його вихід і далі потрапляє на вхід наступного брегівського дзеркала, і так далі (до поглинання на виході брегівського дзеркала Bz_2^i). Світлові потоки, відбиті від брегівських дзеркал $Bz_2^1; Bz_2^2; \dots Bz_2^{N-1}; Bz_2^N$, з різними довжинами хвиль, надходять до відповідних фотоприймачів $Fz_2^1; Fz_2^2; \dots Fz_2^{N-1}; Fz_2^N$. Подальша робота аналізатора відбувається аналогічно попередній схемі.

Основним недоліком є незначне збільшення габаритів пристрою через необхідність послідовного розміщення брегівських дзеркал по обидва боки прозорого трубопроводу. Цей недолік можна усунути, використовуючи замість брегівських дзеркал звичайні дифракційні решітки, хоча це може призвести до зниження точності (якості) спектрального аналізу. Для цього випадку модифікація схеми аналізатора представлена на рис. 3.

Як і раніше, підключення виходів фотоприймачів та інші компоненти пристрою аналогічні тим, що зображені на рис. 1.

В цій схемі поліхроматичний оптичний потік, що проходить через фокусувальну лінзу 2 і прозору стінку трубопроводу 3, потрапляє на поверхню насіння. Відбите від насіння світло надходить на першу дифракційну решітку D_1 , а світло, яке пройшло через насіння, - на другу дифракційну решітку D_2 . На виходах дифракційних решіток D_1 та D_2 відбувається розподіл світлових потоків на спектральні компоненти, інтенсивність яких визначається властивостями насіння. Потоки, що виходять з дифракційної решітки D_1 , направляються до відповідних фотоприймачів першої групи $Fd_1^1; Fd_1^2; \dots Fd_1^{N-1}; Fd_1^N$, тоді як потоки з решітки D_2 надходять до фотоприймачів другої групи $Fd_2^1; Fd_2^2; \dots Fd_2^{N-1}; Fd_2^N$. Подальше функціонування аналізатора відбувається за аналогічним принципом.



1 – джерело поліхроматичного випромінювання; 2 – фокусувальна лінза; 3 – прозорий трубопровід; 4 – насінина; D_1, D_2 – дифракційні решітки; $Fd_1^1; Fd_1^2; \dots Fd_1^{N-1}; Fd_1^N$ – перша група з N фотоприймачів; $Fd_2^1; Fd_2^2; \dots Fd_2^{N-1}; Fd_2^N$ – друга група з N фотоприймачів.

Рис. 3. Оптикоелектронна система аналізатора якості насіння на основі дифракційних решіток

Основні переваги цієї схеми - її простота, низька вартість і компактні розміри. Однак її недолік полягає в меншій точності порівняно з попередніми версіями.

Запропонуємо алгоритм для моделювання відбивання світла від насіння сільськогосподарської культури (пшениця) та його проходження через дифракційну решітку. Використовувати Python з бібліотекою Pygame для графічного представлення.

Отже, алгоритм включає наступні пункти:

1. Ініціалізувати Pygame.
2. Створити вікно для відображення моделі.

3. Визначити координати та параметри для джерела світла, насіння пшениці та дифракційної решітки.
4. Відобразити джерело світла.
5. Відобразити трубопровід з насінням пшениці.
6. Відобразити дифракційну решітку.
7. Визначити траєкторії світлових променів.
8. Відобразити відбите світло та його розкладання через дифракційну решітку.
9. Оновлювати відображення кожного кроку.
10. Обробляти події для виходу з програми.

Реалізація даного алгоритму наведена на рис. 4.

```
import pygame
import sys

# Ініціалізація Pygame
pygame.init()

# Встановлення розмірів вікна
window_size = (800, 600)
screen = pygame.display.set_mode(window_size)
pygame.display.set_caption("Моделювання відбивання світла від насіння сої та")

# Кольори
WHITE = (255, 255, 255)
YELLOW = (255, 255, 0)
GREEN = (0, 255, 0)
BLUE = (0, 0, 255)
CYAN = (0, 255, 255)
PURPLE = (128, 0, 128)
RED = (255, 0, 0)

# Координати та параметри
light_source_pos = (100, 300)
seed_pos = (300, 300)
grating_pos = (500, 300)

# Функція для відображення джерела світла
def draw_light_source(screen, pos):
    pygame.draw.circle(screen, YELLOW, pos, 10)

# Функція для відображення насіння сої
def draw_seed(screen, pos, radius):
    pygame.draw.circle(screen, GREEN, pos, radius)

# Функція для відображення дифракційної решітки
def draw_grating(screen, pos, width, height):
    pygame.draw.rect(screen, PURPLE, (*pos, width, height))

# Функція для відображення світлових променів
def draw_light_paths(screen, light_pos, seed_pos, grating_pos, seed_radius, colors):
    # Відбите світло
    reflected_light_start = seed_pos
    reflected_light_end = grating_pos
    for color in colors:
        pygame.draw.line(screen, color, reflected_light_start, reflected_light_end, 2)
    reflected_light_start = (reflected_light_start[0], reflected_light_start[1] + 10)
    reflected_light_end = (reflected_light_end[0], reflected_light_end[1] + 10)

# Головний цикл
running = True
while running:
    for event in pygame.event.get():
```

Рис. 4. Елемент програмного забезпечення для моделювання відбивання світла від насіння сільськогосподарської культури в програмі Python

Опис роботи алгоритму:

1. Ініціалізація Pygame: Ініціалізується бібліотека Pygame.
2. Встановлення параметрів вікна: Визначаються розміри вікна та його заголовок.
3. Встановлення кольорів: Визначаються кольори для різних об'єктів.
4. Визначення координат: Задаються координати для джерела світла, насіння сої та дифракційної решітки.
5. Функції для відображення: Створені функції для відображення джерела світла, насіння пшениці та дифракційної решітки.
6. Відображення світлових променів: Відображаються світлові промені, що відбиваються від насіння та проходять через дифракційну решітку.
7. Головний цикл: У головному циклі обробляються події, відображаються об'єкти та оновлюється екран.



Висновки. Поєднання оптичних технологій з мікропроцесорними системами дало змогу розробити кілька варіантів конструкцій оптичних аналізаторів для насіння сільськогосподарських культур. Дані конструкції, по-перше, забезпечують високоякісний і швидкий аналіз насіння; по-друге, мають просту конструкцію без рухомих частин і механізмів; по-третє, гарантують ефективність використання (застосування) в польових та виробничих умовах.

Список використаних джерел.

1. Adamchuk V., Bulgakov V., Gadzalo I., Ivanovs S., Stepanenko S., Holovach I., Ihnatiev Y. Theoretical study of vibrocentrifugal separation of grain mixtures on a sieveless seed-cleaning machine. *Rural Sustainability Research*. 2021. Vol. 46(341). P. 116-124. <https://doi.org/10.2478/plua-2021-0023>.
2. Kibkalo I. Effectiveness of and Perspectives for the Sedimentation Analysis Method in Grain Quality Evaluation in Various Cereal Crops for Breeding Purposes. *Plants*. 2022. Vol. 11(13). P. 1640. <https://doi.org/10.3390/plants11131640>.
3. Phuangsombut K., Suttiwijitpukdee N., Terdwongworakul A. Nondestructive classification of mung bean seeds by single kernel near-infrared spectroscopy. *Journal of Innovative Optical Health Sciences*, 2017. Vol. 10(3). P. 9.
4. Piven M., Volokh V., Piven A., Kharchenko S. Research into the process of loading the surface of a vibrosieve when a loose mixture is fed unevenly. *East.-Eur. J. Enterp. Technol.* 2018. Vol. 6/1(96), P. 62-70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.149739>.
5. Adamchuk V., Bulgakov V., Ivanovs S., Holovach I., Ihnatiev Y. Theoretical study of pneumatic separation of grain mixtures in vortex flow. *Eng Rural Devel.* 2021. Vol. 20. P. 657-664. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF139>.
6. Shapiro M., Galperin V. Air classification of solid particles: a review. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 2005. Vol. 44(2). P. 279-285. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2004.02.022>.
7. Kroulík M., Hůla J., Rybka A., Honzík I. Pneumatic conveying characteristics of seeds in a vertical ascending airstream. *Research in Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 62(2). P. 56-63. <https://doi.org/10.17221/32/2014-rae>.
8. Kharchenko S., Borshch Y., Kovalyshyn S., Piven M., Abduev M., Miernik A., Popardowski E., Kielbasa P. Modeling of Aerodynamic Separation of Preliminarily Stratified Grain Mixture in Vertical Pneumatic Separation Duct. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11(10). 4383. <https://doi.org/10.3390/app11104383>.



9. Kharchenko S., Samborski S., Kharchenko F., Paśnik J. Numerical Study of the Natural Oscillations of Perforated Vibrating Surfaces with Holes of Complex Geometry. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2023. Vol. 17(6). P. 73–87. <https://doi.org/10.12913/22998624/174062>.
10. Tishchenko L., Kharchenko S., Kharchenko F., Bredykhin V., Tsurkan O. Identification of a mixture of grain particle velocity through the holes of the vibrating sieves grain separators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 2 (7(80)). P. 63-69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65920>.
11. Mykhailov Y., Zadosna N., Postnikova M., Pedchenko G., Khmelovskyi V., Bondar M., Ionichev A., Kozdęba M., Tomaszewska-Górecka W. Energy Assessment of the Pneumatic Sieve Separator for Agricultural Crops. *Agricultural Engineering*. 2021. Vol. 25(1). P. 147-156. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2021-0012>.
12. Stepanenko S., Kotov B., Kuzmych A., Kalinichenko R., Hryshchenko V. Research of the process of air separation of grain material in a vertical zigzag channel. *Journal of Central European Agriculture*. 2023. Vol. 24(1). P. 225-235. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/24.1.3732>.
13. Bredykhin V., Pak A., Gurskyi P., Denisenko S., Bredykhina K. Improving the mechanical-mathematical model of pneumatic vibration centrifugal fractionation of grain materials based on their density. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4(1(112)). P. 54-60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236938>.
14. Reguła T., Fraczek J., Fitas J. A Model of Transport of Particulate Biomass in a Stream of Fluid. *Processes*. 2021. Vol. 9(5).e9010005. <https://doi.org/10.3390/pr9010005>.
15. Filimonikhin G., Amosov V., Haleeva A., Ienina I., Mezitis M., Nevdakha Y., Strautmanis G., Vasylykovskyi O. Estimating the stability of steady motion of vibration machines operating on the Somerfeld effect using an empirical method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 6(7(120)). P. 45–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268718>.
16. P. Calderon Flores, J. S. Yoon, D. Y. Kim, Y. Seo. Effect of chilling acclimation on germination and seedlings response to cold in different seed coat colored wheat (*Triticum aestivum* L.). *BMC Plant Biology*. 2021. Vol. 21. e03036-z. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03036-z>.
17. Hanifa A., Millner J., Gill C., Sjahril R. Total a n, flavonoid and phenolic content of pigmented rice landraces from South Sulawesi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 484. e012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/484/1/012036>.



18. Насіннєзнавство та методи визначення якості насіння сільськогосподарських культур: навч. посібник / за ред. С. М. Каленської. Вінниця.: ФОП Данилюк, 2011. 322 с.
19. Півоваров О. А., Ковальова О. С., Кошулько В. С. Інноваційні методи визначення показників якості зерна. Дніпро: ДДАЕУ, 2023. 325 с.
20. Fazel-Niari Z., Afkari-Sayyah A.H., Abbaspour-Gilandeh Y., Herrera-Miranda I., Hernández-Hernández J.L., Hernández-Hernández M., Quality Assessment of Components of Wheat Seed Using Different Classifications Models. *Appl. Sci.* 2022. Vol. 12. e4133. <https://doi.org/10.3390/app12094133>.
21. Zhao L., Haque S. M. R., Wang R. Invited Review: Automated seed identification with computer vision: challenges and opportunities. *Seed Science and Technology*. 2022. Vol. 50(1). P. 75-102. <https://doi.org/10.15258/sst.2022.50.1.s.05>.
22. Daneshvar A., Tigabu M., Karimidoost A., Odén C.-T. Single seed Near Infrared Spectroscopy discriminates viable and non-viable seeds of *Juniperus polycarpus*. *Silva Fennica*. 2015. Vol. 49. P. 1334. <https://doi.org/10.14214/sf.1334>.
23. Квашук Д. М., Єрохін Р. О. Огляд можливостей застосування машинного зору в сільському господарстві. *Агросвіт*. 2019. № 12. С. 60–64. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2019.12.60>.

Стаття надійшла до редакції 02.09.2024 р.

S. Stepanenko, A. Kuzmych, V. Shvydya
Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production

INNOVATIVE OPTICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGIES OF FAST GRAIN ANALYSIS IN THE FIELD OF POST-HARVEST PROCESSING

Summary

The purpose of the research is to analyze optical-electronic technologies for the fast analysis of grain materials and to develop schemes of analyzers for seeds of agricultural crops.

Methods of analysis, synthesis, modeling of technical systems are used. The objects of research are optical-electronic technologies of rapid grain analysis.

Functional diagrams were developed and an analysis three versions of the proposed express seed quality analyzer were conducted. The basis of the seed quality analyzer operation is the principle of seed distribution according to their spectral characteristics obtained both in the light flux reflected from the protective shell and in the light flux passed through the seeds.

The use of optical Bragg gratings for spectral analysis of seed characteristics provides high accuracy of analysis, but their cost is relatively high. Branching of optical flows in N-initial optical splitters leads to significant weakening of signals reflected from seeds and passing through it.



The use of Bragg mirrors instead of Bragg grids allows reducing the cost of the express analyzer. The main disadvantage is a slight increase in the dimensions of the device due to the need for sequential placement of the Bragg mirrors on both sides of the transparent pipeline.

The use of conventional diffraction gratings instead of a Bragg mirrors provide simplicity, low cost and compact dimensions of the express seed quality analyzer. The main disadvantage is lower accuracy compared to previous versions.

The combination of optical technologies with microprocessor systems has allowed the development of several design options for optical analyzers for agricultural seeds. These designs, firstly, provide high-quality and fast seed analysis; secondly, have a simple design without moving parts and mechanisms; thirdly, guarantee the efficiency of use (application) in field and production conditions.

Key words: optical technologies, grain material, spectral characteristics, seed analyzer, post-harvest processing.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-6

УДК 631.147:631.862

О. Г. Скляр¹, к.т.н.,

ORCID: 0000-0001-7884-6792

Р. В. Скляр¹, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-1547-5100

Б. В. Болтянський¹, к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-2072-4025

С. В. Сиротюк², к.т.н.,

ORCID: 0000-0001-9966-6299

С. В. Коробка², к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-4717-509X

І. Г. Стукалець², к.т.н.

ORCID: 0000-0001-7107-4865

¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного²Львівський національний університет природокористуванняe-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua, тел.: +380679168580

АНАЛІЗ МЕТОДІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА У МЕТАНТЕНКАХ

Анотація. В статті проаналізовано існуючі методи удосконалення процесу переробки органічних відходів тваринництва у метантенках. Розглянуті основні напрямки наукових досліджень інтенсифікації процесу анаеробної переробки гнойових стоків. А також доза завантаження метантенка та періодичність бродіння органічної сировини. Для проведення аналізу методів вдосконалення процесу анаеробної переробки гною та гнойових стоків у метантенках вони умовно були розділені на види: механічний, біохімічний, мікробіологічний, термічна та електромагнітна обробки. Наведені їх особливості роботи, переваги і недоліки при цьому. Аналіз методів удосконалення процесу переробки органічних відходів тваринництва у метантенках зведено у таблицю, де представлено суть удосконалення та очікуваний ефект.

Ключові слова: біогаз, довкілля, добрива, екологія, метан, температура, теплообмінника, зброджування.

Постановка проблеми. Стійкий розвиток агропромислового виробництва можливий лише за умови одночасного вирішення екологічних, економічних, соціальних та технологічних проблем регіону [1]. Реалізація стратегії сталого розвитку потребує узгодження економічного розвитку всіх господарюючих об'єктів з жорсткими рамками екологічних обмежень видів діяльності, які негативно впливають на екологічну систему та природні ландшафти України [2, 3].

Проте, нині, однією з найважливіших проблем запобігання негативного впливу на довкілля, є проблема переробки свинячого



гною, тому що в умовах промислового свиначства характерне безпідстилькове утримання тварин із застосуванням гідравлічних систем видалення гною вологістю 92-95%, де використання великої кількості води значно збільшує обсяги гнойових стоків і ускладнює їх переробку та застосування [4,5]. Спостереження вчених свідчать про те, що на свиначських підприємствах не знезаражуються і не використовуються обсяги гнойових стоків, що утворюються. Використання відстійників, біологічних ставків і лагун, гноєсховищ та накопичувачів гною може обмежуватися особливостями природно-кліматичних умов. Основна причина незадовільного стану – це наявність застарілих очисних споруд, які потребують ремонту чи заміни на нові чи просто відсутність будь-яких засобів очищення, а також недостатність фінансування природоохоронних заходів у країні.

Звідси випливає, що з найперспективніших напрямів переробки рідкого свиначого гною є анаеробна переробка в метантенках, в результаті якого відбувається різке зниження концентрації органічних забруднень у відходах або у гнойових стоках з одночасним утворенням біогазу, який можна використовувати як енергоносіє для сільськогосподарського виробництва [5,6].

Активне використання метаногенезу [7] при зброджуванні органічних відходів є, за сучасними уявленнями, одним із найперспективніших шляхів спільного вирішення екологічних та енергетичних проблем на сільськогосподарських підприємствах.

Аналіз останніх досліджень. В даний час наукові дослідження інтенсифікації процесу анаеробної переробки гнойових стоків ведуться у таких основних напрямках [1, 8-13]:

- вивчення процесу переробки висококонцентрованих органічних відходів з концентрацією твердих частинок 30-50%;
- багатостадійна переробка органічних відходів, заснована на застосуванні метантенків за модульною технологією;
- вивчення процесу метанового зброджування за участю психрофільних мікроорганізмів за температури 0...20°C;
- рециркуляція зброженого осаду та застосування анаеробних біофільтрів у камері зброджування метантенка.

Удосконалення процесу анаеробного зброджування гнойових стоків – це, передусім зменшення циклу бродіння чи часу перебування органічної біомаси в метантенку. Відомо, що доза завантаження метантенка та періодичність бродіння органічної сировини залежать від наступних параметрів:

- температури технологічного процесу бродіння і вологості сировини, що зброджується;
- концентрації органічних речовин у субстраті, що зброджується;



- концентрації іонів водню (рН) та окислювального і відновлювального потенціалу (ОВП) субстрату, що зброджується в метантенку;

- технології завантаження та перемішування зброджуваного субстрату (безперервна чи періодична).

Формулювання мети статті. Проаналізувати існуючі методи удосконалення процесу переробки органічних відходів тваринництва у метантенках.

Основна частина. Інтерес до метанового зброджування органічних відходів сільськогосподарського виробництва нині значно зріс майже у всіх країнах, у зв'язку з подальшим зростанням світових цін на нафту та інші види палива [14,15]. Звідси випливає, що першочерговими завданнями є створення технологічних ліній, що працюють в інтенсивному режимі з максимальною енергетичною віддачею, та розробка універсального проєкту біогазової станції, яку за незначних змін і доповнень можна було б здійснити в будь-якому регіоні України.

У зв'язку з цим, методи вдосконалення процесу анаеробної переробки гною та гнойових стоків у метантенках можна умовно розділити на такі види (рис. 1):

- механічний вплив на субстрат, що зброджується (подрібнення вихідної маси перед завантаженням в метантенк, перемішування зброджуваної сировини рециркулюючими газами бродіння і рециркуляція осаду) [16-18];

- біохімічні методи впливу на субстрат, що зброджується (лужними агентами, ферментами, порошкоподібне активоване вугілля, поверхнево-активні речовини, термічна обробка, електромагнітна обробка) [19];

- термічна та електромагнітна обробка субстрату, що зброджується [20];

- мікробіологічні методи, тобто, накопичення метаноутворюючих мікроорганізмів на різних носіях, де бактерії фіксуються на спеціальних інертних-бактеріоносіях, в результаті якого досягається підвищена концентрація мікроорганізмів у метантенку [21].

Механічною дією, що впливає на інтенсивність процесу метанового бродіння, є попередня підготовка вихідної сировини до зброджування. Тому тверді матеріали, особливо рослинного походження, повинні бути підготовлені за допомогою ріжучих, розривних або плющильних пристроїв, щоб у результаті ефективного механічного впливу отримати частинки меншого розміру, оскільки подрібнення вихідної маси перед завантаженням або якість підготовки сировини, дозована і регульована подача його в реактор впливають на ступінь розпаду органічної речовини продукту, що зброджується, і на

швидкість газовиділення. В результаті подрібнення, наприклад гною, виходить гомогенна маса, температура якої на виході з подрібнювача на 6 ... 8⁰С вища за температуру вихідної сировини. Далі подрібнену масу вистояють за певної температури і часу, за якої завдяки діяльності мікроорганізмів, видаляється кисень, знижується окислювально-відновний потенціал середовища, утворюються вуглеводи, спирти та леткі жирні кислоти. При зброджуванні підготовленої сировини виділення біогазу починається вже за кілька годин із початку досліду [16-18].



Рис. 1. Існуючі методи вдосконалення процесу анаеробної переробки гною та гнойових стоків

Далі йде, що метаболічна і репродуктивна здатності метаноутворюючих мікроорганізмів перебувають у функціональній залежності від температури [22]. Таким чином, температура впливає на обсяг біогазу, який можна одержати з певної кількості органічної речовини протягом заданого часу. Якщо зброджуванню піддається маса без попереднього нагрівання, то в камері зброджування доводиться встановлювати теплообмінники та пристрої, що

перемішують. Теплообмінники [17, 19, 23] не забезпечують рівномірного температурного поля, а механічні пристрої, що перемішують, створюють високі швидкості перемішування шарів зброджуваної маси, збільшують втрати тепла в навколишнє середовище. Крім того, в момент завантаження в камеру збродження вихідної маси з температурою, що значно відрізняється від температури обраного робочого режиму в метантенку, відбувається охолодження маси, що переробляється. У численних дослідженнях вчених [8,9,12] прийнято два температурні оптимуми (близько 33°C і 54°C), яким відповідають найвищі значення метаболічної активності метаноутворюючих мікроорганізмів, тобто, від 25°C до 55°C інтенсивність процесу метаноутворення зростає, за подальшого підвищення температури до 60°C процес розпаду органічної речовини уповільнюється, а інтервалі $60...70^{\circ}\text{C}$ відзначається значне уповільнення процесу бродіння. Мікробіологічна активність мікроорганізмів майже припиняється, якщо температура знижується приблизно 15°C . До перепадів температури, особливо до її раптовим зниженням, мікроорганізми дуже чутливі і реагують на це зниженням до відтворення. Виходячи з цього, прийнято оптимальні температурні параметри для мезофільного режиму збродження $32...35^{\circ}\text{C}$, а термофільного $52...55^{\circ}\text{C}$.

Для підтримки необхідного температурного режиму в камері збродження метантенка існує два варіанти: попереднє нагрівання вихідної маси перед завантаженням, де теплообмінні пристрої розташовані поза камерою збродження метантенка і підігрів продукту бродіння безпосередньо всередині ємності. Необхідно відзначити, що розташування теплообмінників у камері збродження метантенка не забезпечує рівномірності розподілу температурного поля по всьому об'єму, якщо відсутній пристрій, що перемішує зброджується маси [18, 19].

Для вирівнювання температури в камері збродження часто встановлюють різні пристрої для перемішування маси. Рекомендацій щодо вибору способів перемішування практично немає, а вплив перемішування на процес метанового збродження гною вивчено поки що недостатньо. Є підстави вважати, що перемішування певною мірою має сприяти збільшенню площі контакту між мікроорганізмами і субстратом, тобто, багаторівневе перемішування та примусова дегазація прискорює процес збродження. При перемішуванні можна домогтися рівномірного розподілу гною, що завантажується, і мікроорганізмів в реакторі, а за допомогою примусової дегазації перешкодити накопиченню проміжних і кінцевих продуктів метаболізму.

На сьогодні відомі такі способи перемішування гною в метантенку [9, 18, 19]: безперервне перемішування; перемішування



тільки у певний час, безпосередньо після завантаження вихідного гною; періодичне перемішування, наприклад, по 10 хвилин щогодини, тобто, немає однозначної думки щодо застосування методів перемішування при метановому зброджуванні гною. На думку фахівців можна виділити декілька методів: інжекторами, пропелерними мішалками, рециркуляційними насосами та рециркуляцією газу, але оптимального рішення виявити не вдалося. Наприклад, у Франції проведено дослідження з отримання біогазу з рідкого свинячого гною, де застосовувалося безперервне анаеробне зброджування при постійному перемішуванні субстрату або ферментації «вільними клітинами». Експерименти показали, що це спосіб не надійний, тобто ферментація не завжди відбувається чи займає багато часу. Далі, удосконаленням безперервної змішувальної системи є «контактний метод», який полягає в уловлюванні у відстійнику на виході з реактора активної біомаси, щоб назад ввести разом із вихідним гноєм.

Також необхідно зазначити, що на процес утворення метану стимулює додавання ацетату в метантенк і, водночас, це єдиний субстрат метаногенезу, який у них виявляється. Отже, є невідповідність між швидкостями утворення та споживання ацетату. Це може бути пов'язане з нестачею ацетатовикористовуючої мікрофлори і, ймовірно, необхідне досягнення певної концентрації ацетату, щоб вона почала активно розвиватися [19, 20].

Численні дослідження присвячені інтенсифікації процесу бродіння гною біостимуляторами, тобто, біохімічний вплив на зброджуючий субстрат. Для того, щоб підвищити інтенсивність утворення метану та накопичення метанової мікрофлори вченими було проведено дослідження впливу добавок метанолу, ацетату, а також целюлози у вигляді подрібненого фільтрувального паперу. Для прискорення виходу метантенка на робочий режим були використані відселекціоновані асоціації мікроорганізмів шляхом внесення їх у вигляді засівного матеріалу одночасно з підготовленим гноєм, тобто, внесення екзогенних добавок зменшує час виходу метантенка на робочий режим до 3-5 діб, а використання збалансованої синтрофної асоціації мікроорганізмів дозволяє скоротити цей період до 2-3 діб і почати безперервний процес зброджування гною з досить високої добової дози завантаження 30-50%. Однак у першому випадку потрібна додаткова витрата хімічних реактивів, у другому – запровадження проміжних ємностей для вирощування необхідного посівного матеріалу [20, 21].

Однією з шляхів вдосконалення процесу анаеробної переробки гнойових стоків – застосування системи анаеробного біофільтра задля продовження терміну знаходження метаноутворюючих мікроорганізмів у робочій камері метантенка. Біогазова установка з



біофільтром у метантенці дозволяє пристосовуватися до будь-яких типів відходів тваринництва від найбільш насичених, що знаходяться у зваженому стані органічними речовинами (свинячий гній, гній ВРХ, пташиний послід) та менш насиченими - відходи агрохарчової промисловості [25, 26].

Аналіз методів удосконалення процесу переробки органічних відходів тваринництва у метантенках зведено в таблицю 1.

Таблиця 1

Аналіз методів удосконалення процесу переробки органічних відходів тваринництва у метантенках

Метод	Суть удосконалення	Очікуваний ефект
Температурний режим	Впровадження систем автоматичного контролю температури та використання відновлюваних джерел енергії для обігріву (наприклад, частини виробленого біогазу). Підвищення ефективності теплоізоляції реакторів для зменшення теплових втрат.	Підвищення швидкості зброджування, вищий вихід метану
Контроль рН	Автоматичний контроль та регулювання рН субстрату	Оптимальні умови для діяльності метаногенних бактерій, покращення процесу метаногенезу
Концентрація сухих речовин	Підтримка оптимальної концентрації (8-15%) для ефективного анаеробного процесу	Підвищення швидкості зброджування та виходу біогазу
Перемішування субстрату	Використання інтелектуальних систем перемішування на основі даних про параметри субстрату	Запобігання мертвим зонам, рівномірний розподіл субстрату та бактерій
Подача субстрату	Автоматизована система дозованої подачі субстрату	Стабільність процесу зброджування, уникнення пікових навантажень



Продовження таблиці 1

Подрібнення субстрату	Попереднє механічне подрібнення для збільшення площі поверхні	Підвищення швидкості розкладання органічних речовин
Термічна обробка субстрату	Гідротермічна обробка перед анаеробним зброджуванням	Збільшення біодоступності органічної речовини, підвищення швидкості розкладання
Метод	Суть удосконалення	Очікуваний ефект
Співферментація (кодигестія)	Використання математичних моделей для розрахунку оптимального співвідношення різних типів відходів, що дозволяє забезпечити максимальний вихід біогазу. Створення систем автоматичного дозування різних типів субстрату для підтримання стабільного процесу.	Підвищення виходу біогазу, покращення балансу C/N
Усунення інгібіторів	Контроль за амонієм, сульфідами, жирними кислотами	Зменшення токсичного впливу на процес метаногенезу
Додавання мікроорганізмів	Використання спеціалізованих мікробних консорціумів та інокуляторів	Підвищення активності мікроорганізмів, стабільність процесу зброджування
Ензиматична стимуляція	Додавання ферментів для поліпшення гідролізу органічних матеріалів	Прискорення розкладання складних органічних речовин
Ефективний відбір біогазу	Використання герметичних систем збору і зберігання біогазу	Запобігання втратам біогазу, підвищення ефективності використання



Продовження таблиці 1

Очищення біогазу	Впровадження технологій хімічного та біологічного очищення для зниження рівня сірководню (H_2S), а також вдосконалення процесів мембранної фільтрації для видалення CO_2 . Використання адсорбційних матеріалів для очищення газу та покращення його якості для використання у когенераційних установках.	Підвищення енергетичної цінності біогазу, зниження шкідливих домішок
------------------	---	--

З наведених в таблиці 1 методів найбільший вплив на продуктивність біогазових установок, вихід метану та підвищення ефективності процесу з мінімальними витратами мають наступні: температурний режим, співферментація та очищення біогазу. Наведені вдосконалення дозволять підвищити загальну продуктивність, знизити експлуатаційні витрати, а також підвищити екологічну ефективність біогазових установок, забезпечуючи стабільне виробництво біогазу та якісних добрив для сільського господарства.

Висновки. Удосконалення процесу переробки органічних відходів тваринництва у метантенках потребує комплексного підходу. Це включає оптимізацію фізико-хімічних умов, покращення підготовки субстрату, впровадження сучасних технологій співферментації, контроль за токсичними речовинами та стимуляцію біологічної активності. Впровадження цих методів може значно підвищити ефективність виробництва біогазу, зменшити витрати та підвищити якість кінцевих продуктів – метану і добрив.

Список використаних джерел

1. Гелетука Г. Г., Железна Т. А. Біоенергетика в Україні. *Матеріали для дебатів з питань енергозбереження*. 2011. С. 18 – 23.
2. Болтянський Б. В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник / Б. В. Болтянський та ін. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.
3. Біотехнологія відходів тваринницьких підприємств: монографія / О. М. Захаренко та ін. Київ, 2015. 380 с.
4. Muradin M., Joachimiak-Lechman K., Foltynowich Z. Evaluation of Eco-Efficiency of Two Alternative Agricultural Biogas Plants. URL:



<https://www.mdpi.com/2076-3417/8/11/2083> (дата звернення 28.08.2024).

5. Fischer I. R. Production of methane gas from combination of wheat strow and swine manure. *Trans. ASAE*. 1993. Vol. 26. P. 546 - 548.

6. 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.

7. Marinier M., Clarc K., Wagner-Riddle C. Determining manure management practices for major domestic animals in Canada. *Environment Canada's Greenhouse Gas Inventoru Project*. Environment Canada. Ottawa. ON. 2004.

8. Kettunen R. H., Rintala J. A. The effect of low temperature (5–29 degrees C) and adaptation on the metanogenic activity of biomass. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1997. Vol. 48, № 4. P. 570–576.

9. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату. Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2008. 117 с.

10. Куріс Ю. В. Біоенергетичні установки. Обладнання та технології переробки органовмісних енергоресурсів: підручник [для наук, інжен. – техн. прац. та фахівців з альтерн. джерел енергії, як навч. посібн. для студ. вищих навч. закл.]. Запоріжжя: ЗДІА, 2012. 348 с.

11. Вербинський В. В., Земляний М. Г. Регіональна енергетична політика України та шляхи її реалізації. Дніпропетровськ, 2003. 64 с.

12. Скляр О. Г., Комар А. С. Теоретичні аспекти моделювання машинної технології утилізації органічних відходів. *Праці ТДАТУ*. 2023. Вип. 23, т. 1. С. 104 – 114. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2023-23-1-104-115>.

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

14. 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.

15. 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>.

16. Акулов В. Д. Шляхи підвищення енергетичної ефективності біогазової установки. *Праці ТДАТУ*. 2024. Вип. 24, т. 2. С. 27-36. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-2-3>.



17. Комар А. С. Удосконалення конструкції біогазової установки з рекуперацією теплоти збродженої біомаси. *Праці ТДАТУ*. 2024. Вип. 24, т. 3. С. 62-70. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-3-5>.
18. Скляр Р. В., Скляр О. Г. Обґрунтування способу перемішування субстрату для експериментальної біогазової установки. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2020. Вип. 10, т. 1. URL: http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/11287/1/06.80_2.pdf (дата звернення 02.09.2024).
19. Скляр Р. В. Методи інтенсифікації процесів метанового зброджування. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2014. Вип. 4, т. 1. С. 3-9.
20. Wu J. H., Liu W. T., Tseng I. Ch., Cheng S.-S. Characterization of microbial consortia in a terephthalate-degrading anaerobic granular sludge system. *Microbiology*. 2001. Vol. 147. P. 373-382.
21. Nichols C. E. Overview of anaerobic digestion technologies. *Europe. BioCycle*. 2014. Vol. 45(1). P. 47-53.
22. Скляр Р. В. Аналіз методів визначення часу перебування та навантаження на метантенк. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. 2014. Вип. 148. С. 405-412.
23. Болтянський Б. В. Аспекти вдосконалення технології виробництва біогазу. *Праці ТДАТУ*. 2024. Вип. 24, т. 1. С. 89-100. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-6>.
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. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води: [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / В. М. Савицький та ін. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2007. 152 с.
26. Скляр Р. В. Основні принципи побудови та аналіз математичних моделей технологічних процесів. *Молодь і технічний прогрес в АПК: матеріали Міжнар. наук.-практ. конференції*. Харків: ХНТУСГ, 2021. С. 263–266.

Стаття надійшла до редакції 05.09.2024 р.

O. Skliar¹, R. Skliar¹, B. Boltianskyi¹, S. Syrotyuk², S. Korobka², I. Stukalets²

¹Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

²Lviv National Environmental University

ANALYSIS OF METHODS OF IMPROVING THE PROCESS OF PROCESSING ORGANIC ANIMAL WASTE IN METHANE TANKS

Summary

The article analyzes the existing methods of improving the process of processing organic livestock waste in methane tanks. The active use of methanogenesis in the fermentation of organic waste is, according to modern ideas, one of the most promising



ways to jointly solve environmental and energy problems at agricultural enterprises. The main directions of scientific research on the intensification of the process of anaerobic processing of sewage are considered. Improving the process of anaerobic fermentation of sewage is, first of all, reducing the fermentation cycle or the residence time of organic biomass in the methane tank. The loading dose of the methane tank and the frequency of fermentation of organic raw materials were analyzed. To analyze the methods of improving the process of anaerobic processing of manure and manure effluents in methane tanks, they were conditionally divided into types: mechanical, biochemical, microbiological, thermal and electromagnetic processing. One of the ways to improve the process of anaerobic processing of manure is the use of an anaerobic biofilter system to extend the life of methane-producing microorganisms in the working chamber of the methane tank. To maintain the required temperature regime in the fermentation chamber of the methane tank, there are two options: preliminary heating of the initial mass before loading, where the heat exchange devices are located outside the fermentation chamber of the methane tank, and heating of the fermentation product directly inside the container. Their work features, advantages and disadvantages are given. The analysis of the methods of improving the process of processing organic livestock waste in methane tanks is summarized in a table, which presents the essence of the improvement and the expected effect.

Key words: biogas, environment, fertilizers, ecology, methane, temperature, heat exchanger, fermentation.



ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-7

УДК 663.052:547.97

О. Мельник, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-9201-7955

Р. Шкарапута, асп.

ORCID: 0009-0009-9497-1222

Сумський національний аграрний університет

e-mail: oxana7@i.ua, тел.: +380964328072

e-mail: roman.shkaraputa@gmail.com, тел.: +380972244148

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА НАТУРАЛЬНИХ БАРВНИКІВ З ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ ТА ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ

Анотація. У роботі представлено огляд літературних джерел технологій виробництва натуральних барвників з використанням вторинної сировини та харчових відходів. Встановлено практичну доцільність використання вторинної сировини та харчових відходів, таких як: овочеві, фруктові та ягідні вичавки, молочна сироватка, лушпиння соняшника й ріпчастої цибулі, овочева шкірка, висушені квіти. Наведені різні підходи обробки сировини з метою збереження та максимального вилучення барвних речовин, зокрема висушування, заморожування, дефростація, обробка кислотами та ферментами. Охарактеризовано та наведено перелік найбільш поширеної і дослідженої вторинної сировини й харчових відходів. Проведений порівняльний аналіз ефективності застосування різних методів отримання барвних речовин.

Ключові слова: натуральні барвники, барвні речовини, екстрагування, вторинна сировина, вичавки, антоціани.

Постановка проблеми. Зі значною зміною кліматичних умов, вирощування рослинної сировини з кожним роком стає складніше, так як регулювання врожайності є складним. Під час переробки харчової сировини утворюються від 20 до 60% вторинної сировини та харчових відходів. Зазвичай, їх утилізують або використовують, як корм для тварин. Правильне та раціональне використання вторинної сировини дозволить отримувати додаткову продукцію, знизити витрати на виробництві та зменшити навантаження на екологію. Вторинна сировина та харчові відходи є цінною сировиною, оскільки містять вітаміни, мінеральні речовини, вуглеводи, білки та антиоксиданти. Вичавки з ягід, фруктів та овочів характеризуються підвищеним

вмістом барвних речовин, та можуть бути сировиною для виробництва натуральних барвників.

Виробництво натуральних барвників в Україні має великий потенціал, оскільки Україна є однією з найбільших виробників рослинної сировини. Тому існує доцільність впровадження нових прогресивних (безвідходних) технологій у виробництво з метою раціонального використання сировини, економії енергетичних ресурсів та поліпшення екологічного стану.

Дослідженням технологій отримання натуральних барвників з вторинної сировини та харчових відходів займалися такі дослідники: К. А. Ковалевський, О. І. Мамай, М. І. Валько, О. Д. Шанін, Т. О. Кузьміна, В. Ю. Папченко, Л. М. Кузнецова, Н. О. Стеценко, В. Л. Зав'ялов, В. С. Бодров, Т. Г. Мисюра, Н. В. Попова, Ю. В. Запорожець, В. Є. Деканський, Н. О. Коваленко, О. О. Червоткіна, В. О. Олексієнко, Н. О. Фучаджи, М. М. Самілик, О. В. Дишкантюк, О. М. Кондрацька та інші.

Мета дослідження. Аналіз технологій отримання натуральних барвників з використанням вторинної сировини та харчових відходів

Основна частина. Барвники (Е 100 – Е199) – це барвні органічні сполуки, які отримують шляхом екстрагування з рослин та живих організмів (натуральні), а також органічного синтезу (штучні). Штучні барвники найбільш стійкі до дії світла, температури та рН середовища. Однак, вони викликають гіперактивність у дітей, алергічні реакції, а речовини їх напіврозпаду є канцерогенними та мутагенними [1]. Натуральні барвники, навпаки, не стійкі до дії світла, температури та рН, але вони володіють антиоксидантними, протизапальними, протипухлинними та антимікробними властивостями. Натуральні барвники можуть містити в своєму складі антиоксиданти, вітаміни, мінеральні речовини, вуглеводи, білки та барвні речовини [2]. Тому основною метою більшості харчових виробництв є перехід на використання натуральних барвників у виробництві харчових продуктів.

Антоціани (Е163) широко застосовуються в харчовій промисловості, як натуральні харчові барвники.

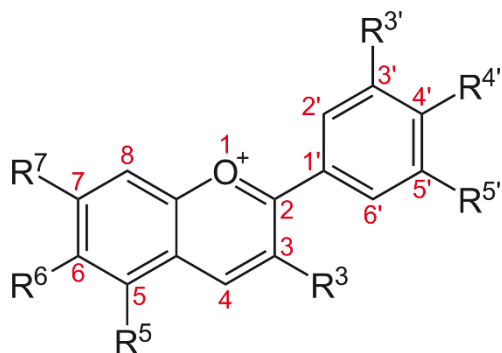


Рис. 1. Хімічна формула антоціанів

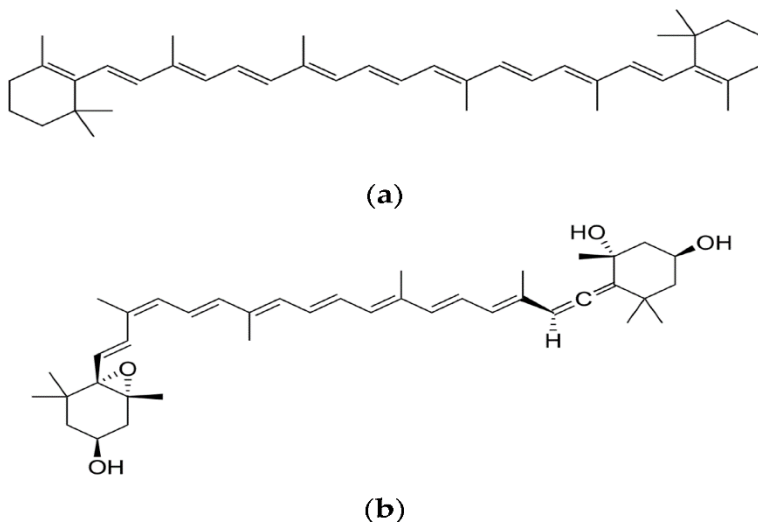


Рис. 2. Екстракти червоноголової капусти в залежності від рН середовища

Вторинна сировина та харчові відходи харчової промисловості (овочеві, фруктові та ягідні вичавки) є перспективним джерелом отримання антоціанів [35].

Антоціани – це водорозчинні природні пігменти, що надають рослинам широку палітру кольорів від світло-червоного до темно-синього. Пігменти чутливі до світла, тепла, кисню та змін рН середовища. У рослинній сировині антоціани зазнають певних змін, зокрема глікозилування (приєднання цукрів) та ацилювання (приєднання органічних кислот). Глікозилування підвищує їхню розчинність та стабільність, тоді як ацилювання додатково стабілізує пігмент і може впливати на його колір. Поширеність ацильованих та неацильованих антоціанів у природі неоднакова. Ацильовані форми найчастіше зустрічаються в квітах та рослинах, тоді як неацильовані – у фруктах. Однак, саме складні структури ацильованих глікозидів антоціанів забезпечують їм високу стабільність та різноманітність кольорів [3].

Каротиноїди (E160) – це жиророзчинні пігменти, що характеризуються різноманітністю кольорів від жовтого до темно-червоного. Залежно від наявності кисневих функціональних груп, каротиноїди поділяються на каротини (без кисню) та ксантофіли (з киснем).



а – каротиноїдів; б – ксантофілів
Рис. 3. Хімічна формула



Рис. 4. Екстракт з моркви

Кон'юговані подвійні зв'язки в молекулі каротиноїду зумовлюють їхню здатність поглинати світло у видимому діапазоні, що і обумовлює їх забарвленість. Довжина кон'югованої системи та ступінь циклізації молекули впливають на відтінок пігменту. Наприклад, лікопін, з найдовшою кон'югованою системою серед

каротиноїдів, має інтенсивне червоне забарвлення. Високий ступінь ненасиченості робить каротиноїди чутливими до окислення та ізомеризації, особливо під час обробки харчових продуктів.

Побічні продукти харчової промисловості такі як, вичавки моркви, паприки, томатів, гарбуза та шкірка апельсину – це лише деякі приклади рослинної сировини, яку дослідники використовують для екстракції каротиноїдів. Крім того, розробляються технології мікрокапсуляції каротиноїдів для підвищення їхньої стабільності та біодоступності [4].

Хлорофіл (E140) – це зелений пігмент, що міститься в хлоропластах рослин. За хімічним складом класифікується на хлорофіл а та хлорофіл b, що відрізняються лише одним замісником – метиловою та формільною групами. Співвідношення хлорофілу а до хлорофілу b у рослинах становить 3:1. Хлорофіл а є менш стабільним і має більш блакитний відтінок зеленого кольору порівняно з хлорофілом b

Хлорофіл є нестабільною сполукою в кислому середовищі та при дії високої температури відбувається швидке руйнування пігменту. Для стабілізації та збереження властивостей хлорофілів, дослідники використовують комплекси міді (Cu) та цинку (Zn). Хлорофіли, отримані таким чином мають підвищену стійкість до деградації та можуть мати більш інтенсивне забарвлення.

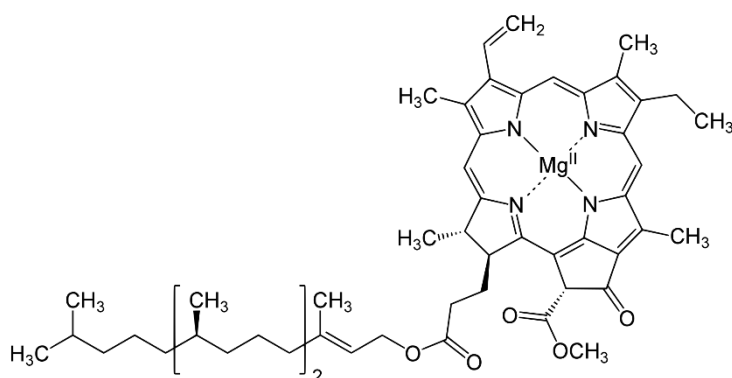


Рис. 5. Хімічна формула хлорофілу



Рис. 6. Екстракт з шпинату

У харчовій промисловості хлорофіли та їхні металокомплекси використовуються як натуральні харчові барвники. Побічні продукти харчової промисловості такі як, вичавки шпинату, кропиви та селери є перспективним джерелом виробництва хлорофілу [5].

Беталаїни (E 162) – водорозчинні пігменти, які забарвлюють рослинну сировину від бордового до світло-жовтого кольору. Залежно від структурних особливостей, беталаїни класифікують на дві основні групи: бетаціани (червоно-фіолетового забарвлення) та бетаксантини (жовто-оранжевого забарвлення). Беталаїни мають високу стабільність у середовищі pH 3-7, це робить каротиноїди

перспективними для застосування в харчовій промисловості, особливо в продуктах з низькою кислотністю.

На відміну від антоціанів, колір беталаїнів менш чутливий до змін рН середовища, але вони чутливі до високої температури, світла та окиснення. Побічні продукти харчової промисловості такі як, вичавки червоного буряка є перспективним джерелом виробництва бетаніну [6].

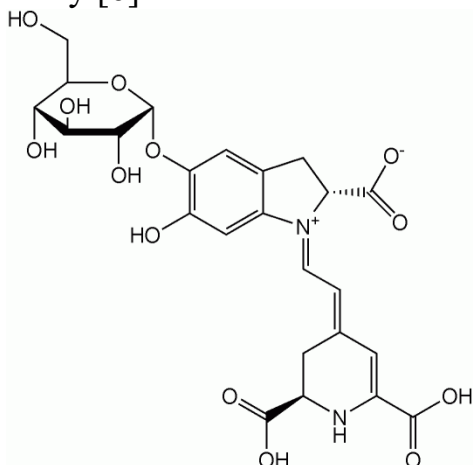


Рис. 7. Хімічна формула беталаїну Рис. 8. Екстракт з червоного буряка

За останнє десятиліття вторинну сировину та харчові відходи почали детально вивчати та досліджувати. Щодо харчової промисловості вторинна сировина та харчові відходи набули широкого дослідження у сфері харчових добавок (натуральних барвників). Для отримання барвників застосовують традиційні та нетрадиційні методи екстрагування барвних речовин [7, 32]. В процесі екстрагування пігментів використовують органічні та неорганічні розчинники. Деяка сировина (наприклад, ягоди) містить значну кількість цукрів, органічних кислот, мінеральних, фенольних та пектинових речовин, що ускладнює отримання концентрованих барвників. Цукри в процесі випарювання приймають участь у реакції Майєра і продукти, які утворюються в результаті погіршують органолептичні показники готових концентратів. З метою зменшення масової частки цукрів, деякі дослідники застосовують додаткову технологічну операцію, зброджуванню цукри за допомогою пивних або хлібопекарських дріжджів. У шкірці фруктових та ягідних вичавок накопичується найбільша кількість барвних речовин, що робить цю сировину цінним джерелом для отримання натуральних барвників.

Виноградні вичавки. При виробництві виноградного соку та вина утворюється від 10 до 20% вторинних відходів (шкірка, кісточки, гребні) [8]. Більшість досліджень спрямовані на комплексну переробку сировини. Вченими була розроблена технологія отримання



спирту-сирцю з побічної сировини (вичавки, гребні) виробництва виноградного соку. Але ця технологія не є безвідходною, оскільки в процесі виробництва утворюється барда (практичного застосування не отримала), яку утилізували. Деякі підприємства застосовують вичавки з винограду для отримання пектину, який близький за своїми властивостями до яблучного та бурякового, але значного поширення дана технологія не отримала. Існують окремі технології спрямовані на переробку лише виноградних кісточок [9] для отримання олії, фурфуролу та сурогатів кави. Кісточковий жмих, який утворювався після пресування використовували як добриво.

Останнім часом виноградні вичавки почали використовувати у виготовленні натуральних барвників. Дослідниками [10] розроблена промислова технологія отримання барвника, яка передбачає змішування виноградних вичавок з розведеною соляною кислотою концентрацією $1\text{г}/100\text{ см}^3$ у співвідношенні 1:1 з подальшим настоюванням протягом (12 – 20) год. Після настоювання масу прогрівають протягом (30 – 60) хв при температурі (65 – 70)°C. Рідину з вичавок зливають, а вичавки замочують водою та пресують ще раз. Отриману рідину змішують, відстоюють та фільтрують. Отриманий екстракт випарюють при температурі (60-65)°C у вакуумному випарнику. Втрати барвних речовин в процесі виробництва склали 40%. Оскільки даний барвник містив низький вміст барвних речовин, розроблена технологія була модифікована дослідниками. Для отримання барвника виноградні вичавки попередньо змішували із сірчистим ангідридом. Використані вичавки винограду після пресування направляли на сушіння з подальшим відділенням кісточки. Отриманий дифузійний сік проходив через ряд технологічних операцій, тобто обробка на гідроциклоні, відстоювання у резервуарі, фільтрування, десульфитація, повторна десульфитація до вмісту SO_2 – 0,05% (при температурі 95-98 °C), охолодження, зброджування пивними дріжджами до масової частки цукрів (0,2-0,5)%, відстоювання протягом 12 год, катіонування через смолу, фільтрування через аніонітові фільтри від органічних кислот та сірчистого ангідриду, концентрування при температурі 48 °C та 73 мм рт. ст. В результаті було отримано барвних з вмістом барвних речовин $50\text{ г}/\text{дм}^3$, що відповідає фізико-хімічним показникам ДСТУ 3845-99 «Барвники натуральні харчові. Технічні умови» [16].

З метою покращення ефективності вилучення барвних речовин розробники [11] дослідили можливість застосування відброекстрагування. Дана технологія полягає у змішуванні свіжих вичавок винограду з водою, екстрагування (температура 80 °C, тривалість 15 хв, частота вібрації 9 Гц), фільтрування, змішування з лимонною кислотою, концентрування (температура (50 – 55) °C до



вмісту сухих речовин (40 – 50%), змішування з сорбіновою кислотою, фасування. В результаті застосування вібрації скорочується час на процес екстракції, пришвидшується процес масообміну та інтенсифікується процес вилучення пігментів.

Дослідниками [12] було розроблено технологію барвника з використанням ферментативного препарату «Пектинекс ВУ 3-L». Технологія передбачає змішування виноградних вичавок з ферментом, заморожування їх для інактивації ферменту поліфенолоксидази (каталізує окислення фенольних сполук), екстрагування замороженої сировини (гідромодуль 1:2, температура 70°C, тривалість 60 хв), концентрування шляхом виморожування (температура (-2...-5) °C, масова частка сухих речовин (16-17)%). В результаті використання ферментного препарату масова частка барвних речовин збільшилася на 38,2% в порівнянні з традиційною технологією. Таким чином, ферментні препарати каталізують розщеплення пектинових речовин, збільшують вихід соку з вижимок та пом'якшують клітковину. Отриманий барвник використовували при виготовленні оздоблюючих кондитерських виробів.

Відома технологія барвника [13], яка передбачає оброблення вичавок винограду ферментативними препаратами «Альфалад БН Л» та «Целюлоза» (температура 45°C, рН 4,5), інактивація ферментів (температура 100 °C, тривалість 1 хв), охолодження, віджимання, фільтрування, екстракція відфільтрованих вичавок водно-етанольним розчином (рН 4,5, температура 70 °C), охолодження, віджимання, фільтрування. В результаті дослідники отримали барвник з масовою часткою барвних речовин 6750 мг/кг.

Лушпиння соняшника. Соняшник є однією із провідних олійних культур в Україні. Під час переробки насіння соняшника утворюється 25 – 35 % відходів (лушпиння), які частково використовують як паливо. Більшість підприємств, які переробляють насіння соняшника заощаджують на опаленні за рахунок спалювання лушпиння. Хоча лушпиння соняшника вважається відходами, але має багато корисних речовин, воно містить лігнін, клітковину, геміцелюлозу, пектин, мінеральні та фенольні речовини, жири.

Крім того, лушпиння соняшника містить достатню кількість антоціанів. Речовина лушпиння соняшника *helianthosyanine* при екстрагування надає екстракту рубінового відтінку. Тому науковцями [14] було розроблено технологію добування антоціанів з відходів соняшника після виробництва олії. Технологія передбачає змішування лушпиння з етиловим спиртом та 1%-м розчином HCl (співвідношення 9:1). Суміш витримували при температурі 18 – 20 °C протягом 12 – 24 год у насиченому середовищі CO₂. Отриману витяжку концентрували у вакуумі при температурі 40°C. Однак,



отриманий барвник містив низький вміст барвних речовин, тому розробниками [15] було удосконалено технологію. Вона передбачала обезжирення лушпиння, змішування з етиловим спиртом, 0,01М оцтовою кислотою та водою з додаванням SO_2 (співвідношення 50:1:49), час екстрагування 5 хв, температура 22 °С, співвідношення розчинника та сировини складало (1:20), розмір фракції 20 мм, концентрація SO_2 – 200 мг/л. Було встановлено, що пігмент з лушпиння соняшника найбільш стабільний при рН 1,0, тому для створення кислого середовища та мінімізації використання агресивних кислот для екстракції барвних речовин почали використовувати харчові кислоти – лимонну, яблучну, молочну, винну, оцтову. В результаті дослідження отримали барвник з продуктів переробки насіння соняшника, який характеризувався насиченим темно-червоним кольором.

Плоди бузини. Плоди бузини вважаються дикорослими та широкого поширення в харчуванні населення України на даний момент не набули. Це пов'язано з нелегальним вирощування плодів бузини на території України, оскільки вона не внесена до переліку сільськогосподарських культур. Вирощування дикорослої сировини на сільськогосподарській землі можливо за умов зміни її цільового призначення. З початку пандемії COVID -19 були масові запити на ягоди бузини, так як вони швидко відновлюють організм після хвороби [17]. Тому в Україні почався процес виведення окультурених сортів для промислового насадження. Вченими університету НУБіП було виведено перший промисловий сорт бузини «Чорна рута», який характеризується підвищеним вмістом флавоноїдів в порівнянні з дикорослою [18, 34].

У Європейських країнах ягоди бузини застосовують як заміник більш дорожчим ягодам, що дозволяє знизити вартість продукції. Ягоди бузини вважаються суперфудом, оскільки вони містять велику кількість поживних речовин, тому є дуже популяризованими у здоровому харчуванні. Ягоди бузини є одними із найбагатших джерел антоціанів, тому їх використання та переробка є досить актуальним напрямком не тільки у вигляді фітопрепаратів, харчової сировини, а й у виробництві барвників.

Науковцями [19], була розроблена технологія барвника з соку бузини. Технологія передбачає вичавлювання соку, оброблення вичавок пектолітичними ферментами, повторне вичавлювання, фільтрування соку, концентрування під вакуумом до вмісту сухих речовин 45,0 %. Концентрація барвних пігментів барвника отриманої за такої технології складала 27 г/дм³. Пізніше була запропонована [20] вдосконалена технологія отримання барвника з ягід бузини. В ході експериментальних досліджень екстрагування проводили етанолом



підкисленим винною кислотою, 2,0 % розчинами винної та лимонної кислот, 0,2 % розчином сірчистого ангідриду, 1,0 % розчином соляної кислоти та водно-спиртовим розчином. Серед вище перелічених розчинників найкращими розчинниками були водно-спиртові розчини, що покращують вилучення пігментів більше ніж на 15,0 % від інших застосованих розчинників. Отриманий екстракт концентрували під вакуумом. Концентрація барвних пігментів складала 30 г/дм³. Однак, дані барвники мали низький вміст барвних речовин, що не відповідало вимогам ДСТУ 3845-99 «Барвники натуральні харчові. Технічні умови» [16], згідно яких барвник з бузини має містити масову концентрацію фарбувальних речовин не менше 50 г/дм³.

Науковцями [21] було запропонована безвідходна технологія переробки плодів бузини, яка передбачає гідромеханічну обробку ягід, заморожування (температура -18 °С), дефростація при температурі 0 – 5 °С, осмотична дегідратація 80 %-м цукровим розчином при температурі 45 – 50 °С, тривалість 1,5 – 2 год, внесення лимонної кислоти, розділення фракції (рідина, тверда фракція), фасування рідини у скляну тару, сушіння твердої сировини при температурі 45 – 50 °С протягом 2 год, подрібнення, фасування. Однак, отримані продукти містять високу концентрацію цукру, що обмежує їх використання у здоровому харчуванні та харчуванні людей, які страждають на цукровий діабет.

Kvimi Clitoria ternatea та Hibiscus. Квіти *Clitoria ternatea* та *Hibiscus* є не типовими та екзотичними представниками флори України. Вони не зустрічаються в дикій природі, але вирощуються в теплицях, оскільки звичайний клімат для них холодний. Висушені квіти використовують як складову частину чаїв, оскільки вони мають насичений яскраво-синій (*Clitoria*) та червоний (*Hibiscus*) колір. Квіти характеризуються підвищеним вмістом антоціанів та флавоноїдів та можуть використовуватися як сировина для виробництва барвників.

При переробці рослинної сировини зазвичай утворюється 30-40% відходів, які утилізують. Переробка висушеної сировини передбачає калібрування та очищення від сторонніх домішок. Процес очищення відбувається за допомогою сепаратору від рослинних домішок, каміння, піску та ворси. На виході в залежності від налаштувань отримують перший або/та другий сорт (цілі квіти без сторонніх домішок, великого та середнього розміру), та відходи (пил, каміння, квіти дрібного розміру, пелюстки, стебло). Перший/ другий сорт відправляють на фасування, а відходи утилізують. Низькосортна сировина, яка не відповідає вимогам може бути використана для виробництва барвників. Тому дослідниками було розроблена технологія натуральних барвників з квітів *Clitoria ternatea* та *Hibiscus*.



Для екстрагування *Clitoria ternatea* [22], застосовували холодну (температура - 25 °С, тривалість – 24 год, гідромодуль 1:10), теплу (температура - 54 °С, тривалість – 74 хв, гідромодуль 1:37) та гарячу екстракцію (температура – 59,6 °С, тривалість – 37 хв, гідромодуль 1:33). Вихід антоціанів при холодній екстракції складав – 58,75 %, при теплій – 60,12 %, гарячій – 73,26 %. В результаті досліджень за допомогою алгебраїчних підрахунків та екстраполювання прямої на графіку було встановлено, що оптимальними умовами екстракції *Clitoria ternatea* є температура 73,1 °С, тривалість 45 хв та гідромодуль 1:30. Для екстрагування антоціанів *Hibiscus* [23] подрібнювали, змішували з 70,0 % етиловим спиртом у співвідношенні (1:5 – 1:8), віджимали, фільтрували, швидко заморожували, проводили сублімаційне сушіння (температура - 25 °С, тиск (8×10^{-4}) Па), досушували при температурі 50 – 55 °С) до вмісту вологи 5,0 %, проводили двоступеневе подрібнення та фасували.

Вичавки чорниці. У харчовій промисловості чорницю широко використовують для виробництва джемів, соків, начинок, пюре та наповнювачів. Вичавки ягід, які залишаються після виробництва соків та джемів є цінним джерелом антоціанів, однак, вони вважаються відходами та використовуються, як корм для тварин. Тому для виділення цінних речовин з вичавок чорниці науковцями [24], було розроблено технологію виробництва барвників. Технологія полягала у змішуванні вижимок чорниці з 70,0%-м розчином етилового спирту підкисленим лимонною кислотою, екстрагуванні при температурі 70-80 °С протягом 60 хв, гідромодуль 1:7,5, фільтруванні під тиском 0,1 - 0,15 МПа, концентруванні у вакуумі при температурі 50-55 °С під тиском 0,25 МПа при вмісті сухих речовин 50-55%, стабілізації 0,1% розчином сорбінової кислоти при рН 4,5, сушінні (початкова температура 140-150 °С, температура на виході 65-70 °С, вміст вологи 5,0 %), фасуванні.

Шкірка баклажанів. Баклажани широко використовують у консервній промисловості для виготовлення закусок та консервів. В ході технологічного процесу утворюється вторинна сировина (шкірка, плодоніжка, насіння), оскільки шкірка після теплової обробки стає жорсткою, що погіршує органолептичні показники готового виробу. Шкірка містить в своєму складі значну кількість антоціанів та може використовуватися, як сировина для виробництва барвних речовин. Вченими [25] було розроблено технологію виробництва барвника з відходів переробки баклажанів. Технологія передбачає подрібнення свіжої шкірки баклажанів, змішування сировини з 96,0 % розчином етилового спирту у співвідношенні (1:10), двостадійну екстракцію (температура 60 °С, тривалість 50 хв), концентрування у роторному випарнику (вміст сухих речовин 50 – 70 %), підігрівання, деаерація, фасування.



Молочна сироватка. Підсирна сироватка – це побічний продукт, який утворюється після виробництва сиру. Сироватка є цінним харчовим продуктом, який багатий на лактозу, білки, вітаміни та мінерали. Одним із шляхів переробки сироватки запропоновано дослідниками [26], які розробили карамельний барвник для використання в молочній продукції. Технологія полягала у попередній нанофільтрації сироватки та випаровування зайвої вологи при температурі 150 °С, тривалості 60 хв до масової частки сухих речовин – 36,0%. Термін зберігання готового барвника складав 9 місяців при температурі 18-20 °С та відносній вологості 75-80 %.

Вичавки з моркви. Морква є найпоширенішим овочем в раціоні населення України. Вона володіє відмінними смаковими якостями та багатим хімічним складом. Зазвичай моркву використовують у харчовій промисловості для виробництва соку, у консервному виробництві та у приготування кулінарної продукції. Відходи після механічної обробки коренеплоду складають близько 40,0 %, а після виробництва соку понад 70,0 %. Вичавки з моркви можуть бути джерелом барвних речовин, оскільки морква містить значну кількість каротиноїдів. Дослідниками [27] було розроблене устаткування для гранулювання відходів після виробництва соку. Отримані гранули мали тверду та міцну структуру. Дана технологія дозволяє зберегти та підготувати вторинну сировину до переробки, уникнути руйнування складових відходів осмотичною мікрофлорою. Розробники вважають, що отримані гранули можна використовувати для подальшого виробництва барвників та концентратів, тому даний процес потребує додаткового дослідження.

Вичавки сливи. Слива є однією з найпоширеніших фруктових культур в Україні. В харчовій промисловості сливу використовують для виробництва соків та пюре в результаті якого утворюються відходи (шкірка, кісточка), що складають 30 – 40 % від загальної маси [33]. Шкірка зі сливи містить значну кількість антоціанів та може використовуватися у виробництві барвників. Науковцями [28] була розроблена технологія натурального барвника зі шкірки слив, яка полягає у змішуванні сировини з 2,0 %-м розчином лимонної кислоти, екстрагуванні при температурі 25-40 °С протягом 4 год при рН 4,5, віджиманні, повторному екстрагуванні вичавок, змішуванні екстрактів, фільтруванні, випарюванні під вакуумом до вмісту сухих речовин 30-40 %, фасуванні. Вихід барвника в даній технології складав 18-20 %.

Вичавки смородини. Смородина є ширококультивованою ягодою на території України. Її широко використовують в харчовій промисловості, зокрема для виробництва пюре, конфітурів, сиропів, концентратів, як наповнювач для молочних продуктів, кондитерських



та хлібобулочних виробів. В процесі її переробки утворюється вторинна сировина (шкірка, кісточки), що складає близько 30 - 40 % від загальної маси. Найбільша кількість антоціанів знаходяться саме в шкірці смородини. Науковцями [29] було запропоновано технологію отримання барвника з вичавок смородини. Технологія передбачає змішування вичавок з ферментним препаратом Пектинекс ВУ 3-L, заморожування сировини з метою інактивації ферменту поліфенолоксидази, екстрагування замороженої сировини (гідромодуль 1:2, температура 60 °С, тривалість 50 хв), концентрування шляхом виморожування (температура (-2...-5) °С, масова частка сухих речовин 16-17 %). При використанні ферментного препарату масова частка барвних речовин підвищилася на 70,2 % в порівнянні з традиційною технологією. Отриманий барвник використовували для оздоблення кондитерських желейних виробів.

Вичавки томатів та червоного буряка. Червоний буряк та томати це регіональна сировина, яку часто застосовують в українській кухні. З томатів виготовляють соки, пюре та соуси, а з червоного буряка – борщові заправки та соки. В процесі обробки утворюється 25-30% вторинної сировини (шкірка, насіння томатів, шкірка буряка) [36]. Насіння томатів використовують для виготовлення олії, а шкірки томатів та буряка широкого використання не отримали.

Барвники з червоного буряка зазвичай використовують у висушених та заморожених продуктах харчування (заморожені напівфабрикати з рослинної сировини для веганів, рослинне м'ясо та інші). Традиційна технологія барвника з червоного буряка передбачає вичавлювання соку, екстрагування бурячної стружки водою, концентрування, фасування. Для підсилення виділення екстрактивних речовин науковцями [30] було удосконалено традиційну технологію отримання барвнику шляхом використання ферментативного препарату «Альфалад Б Н». Технологія передбачала обробку бурякового жому ферментом (1,5 г/л) та лимонною кислотою (рН 4,2), екстрагування при температурі 45 °С протягом 30 хв, інактивація ферменту при температурі 100 °С, охолодження.

Відома [31] технологія безвідходного купажованого барвника з томату та червоного буряка. Основним завданням дослідження був пошук методів стабілізації, оскільки пігменти буряка чутливі до високих температур та рН середовища. Під час сушіння бетанін вступає в реакцію з повітрям та окислюється в результаті чого змінює колір від бордового до жовто-коричневого. З метою стабілізації забарвлення до червоного буряка добавляли вижимки томатів. При співвідношенні (3:1) та рН 3,9 відбувалося максимальне збереження пігменту, вміст якого складав 94,7%. Технологія передбачала



підготовку шкірки томатів та буряків, змішування у співвідношенні 3:1, сушіння (початкова температура складала 100 °С, кінцева - 60 °С), охолодження, подрібнення, сепарація суміші, фасування, пакування. Вологість готового барвника складала 10 – 12%.

Отже, використання вторинної сировини та харчових відходів для виробництва натуральних барвників є перспективним напрямком розвитку харчової промисловості, оскільки в процесі переробки сировини утворюється від 10 до 60% відходів, які не використовуються. Переробка вторинної сировини та харчових відходів дозволить отримувати додаткову продукцію, знизити витрати на виробництві та зменшити навантаження на довкілля. Зі значною зміною кліматичних умов, вирощування рослинної сировини з кожним роком стає все складнішим, тому раціональна переробка сировини має важливе значення.

В процесі аналізу літературних джерел було встановлено, що існує велика кількість напрацювань, присвячених переробці вторинної сировини, однак окремі напрямки потребують додаткових досліджень. Така широка зацікавленість наукового світу та бізнесу у дослідженні та використанні вторинної сировини свідчить про те, що переробка харчових відходів є актуальним завданням сучасної науки та харчової промисловості, яке дозволить ефективно переробляти сировину з мінімальними витратами та максимальним збереженням її функціональних властивостей, що дозволить заощадити рослинний ресурс, підвищити якість харчування та зберегти екологію нашої країни.

Список використаних джерел

1. Ярмош Т. А., Перцевой Ф. В. Впливи синтетичних харчових барвників на організм людини. *Стан і перспективи розвитку хімічної, харчової та парфумерно-косметичної галузей промисловості*: матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції. Хмельницький: ХНТУ, 2024. С. 139–143.
2. Ярмош Т. А., Перцевой Ф. В. Фактори які впливають на стабільність та деградацію антоціанів. *Стан і перспективи розвитку хімічної, харчової та парфумерно-косметичної галузей промисловості*: матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції. Хмельницький: ХНТУ, 2024. С. 143–147.
3. Overview of the Potential Beneficial Effects of Carotenoids on Consumer Health and Well-Being / P. Crupi et al. *Antioxidants*. 2023. Vol. 12, no. 5. P. 1069. <https://doi.org/10.3390/antiox12051069>.
4. Carotenoids and lipid production from *Rhodospiridium toruloides* cultured in tea waste hydrolysate / F. Qi et al. *Biotechnology for Biofuels*. 2020. Vol. 13, no. 1. <https://doi.org/10.1186/s13068-020-01712-0>.



5. Chlorophyll Extraction Methods Review and Chlorophyll Stability of Katuk Leaves (*Sauropus androgynous*) / E. Kwartiningsih et al. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1858, no. 1. P. 012015. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1858/1/012015>.
6. Engineering Betalain Biosynthesis in Tomato for High Level Betanin Production in Fruits / R. Grützner et al. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.682443>.
7. Ярмош Т. А. Характеристика інноваційних методів екстрагування пігментів з рослинної сировини. *Проблеми, пріоритети та перспективи розвитку науки, освіти і суспільства в XXI столітті: зб. тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції* (Полтава, 15 червня 2024 р.). Полтава: ЦФЕНД, 2024. С. 69–71.
8. Семенова О. І., Жилик А. В. Використання твердих відходів виноробства як вторинної сировини для отримання нового продукту. *Science and civilization: materials Of The XII international scientific and practical conference*, 30 January – 07 february 2015. С. 23–25.
9. Тюленєва Ю. В., Шакурн А. С. Переробка відходів виноробної промисловості, як один з методів підвищення економіки України. *Сучасні проблеми економіки і підприємництва*. 2017. Вип. 4. С. 45–53.
10. Ковалевський К. А. Технологія виробництва натуральних харчових барвників / К. А. Ковалевський, О. І. Мамай, М. І. Валько, О. Д. Шанін, Т. О. Кузьміна. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2017. № 2. С. 155–159.
11. Розроблення технології виробництва натурального харчового барвника з виноградних вичавок при використанні віброекстрагування / В. Л. Зав'ялов В. Л., В. С. Бодров, Т. Г. Мисюра, Н. В. Попова, Ю. В. Запорожець, В. Є. Деканський. *Харчова промисловість*. 2010. № 9. С. 102–104.
12. Дишкантюк О. В., Кондрацька О. М. Вдосконалення процесу екстракції натуральних харчових барвників. *Харчова наука і технологія*. 2013. Вип. 11. С. 38–40.
13. Салєба Л. В., Сарібекова Д. Г. Удосконалення процесу екстрагування антоціанів з використанням ферментних комплексів. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2021. № 1. С. 222–226.
14. Папченко В. Ю., Кузнецова Л. М. Узагальнення наукових основ одержання харчових барвників. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ". Темат. вип. : Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів*. 2015. № 44 (1153). С. 65–68.
15. Товарознавство продуктів функціонального призначення: навч. Посібник / А. А. Дубініна, Т. М. Летута, О. М. Янчева. Харків: ХДУХТ, 2015. 186 с.



16. ДСТУ 3845-99. Барвники натуральні харчові. Технічні умови. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=92547 (дата звернення 22.07.2024).
17. Закладання плантацій бузини потребує законодавчого врегулювання. URL: <https://kurkul.com/news/29506-zakladannya-plantatsiy-buzini-potrebuye-zakonodavchogo-vregulyuvannya> (дата звернення 11.07.2024).
18. В Україні вивели перший сорт бузини для промислового насадження. URL: <https://kurkul.com/news/32531-v-ukrayini-viveli-pershiy-sort-buzini-dlya-promislovogo-viroschuvannya> (дата звернення 16.07.2024).
19. Стеценко Н. О. Барвник із соку бузини чорної як джерело функціональних інгредієнтів для виробництва продукції оздоровчого призначення. *Modern Advances in Organic Synthesis, Polymer Chemistry and Food Additives: book of abstract International scientific online conference*, Lviv, December 7-8 2021. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2021. Р. 122.
20. Обґрунтування доцільності використання ягід бузини чорної для виробництва натурального барвника. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/79026879-b095-4f0c-8578-e1886350025f/content> (дата звернення 16.07.2024).
21. Самілик М. М. Розроблення безвідходної технології одержання натуральних барвників із рослинної сировини. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Сер. «Технічні науки»*. 2022. № 1. С. 49–54.
22. Крижак Л. М. Виділення антоціанів (пігментів) методом оптимального відбору екстракції *clitoria ternatea*. *Taurian Scientific Herald. Series: Technical Sciences*. 2022. № 2. С. 24–31.
23. Павлишин М. Л. Дослідження безалкогольних напоїв із нетрадиційної рослинної сировини. *Науковий вісник PUET: Technical Sciences*. 2015. № 1. С. 57.
24. Довгенко Ю. О., Павленко К. А., Подобій О. В. Використання антоціанів чорниці звичайної в якості натуральних барвників. *Збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції, 8–10 грудня 2014 р.* Харків, 2014. С. 89–90.
25. Фролова Т. В. Удосконалення способів зберігання томатних овочів: дис. канд. техн. наук: 05.18.15. Харків, 2021. 323 с.
26. Коваленко, Н. О. Розробка технології карамельного барвника із підсирної сироватки для виробництва молочних продуктів : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.18.16. Одеса : ОНАХТ, 2010. 19 с.
27. Червоткіна О. О., Олексієнко В. О., Фучаджи Н. О. Рациональне використання відходів виробництва морквяного соку.



Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2012. Вип. 12, т. 4. 216-221.

28. Природні барвники для виготовлення безалкогольних напоїв. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/64bc27fe-01dc-4e9a-94ed-dc0470793ab7/content> (дата звернення 14.07.2024).

29. Романова З. М., Косоголова Л. О., Арутюнян Т. В. Особливості технології безалкогольних напоїв з використанням дикорослої ягідної сировини. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2015. Вип. 1. С. 85–91.

30. Салєба Л. В., Літвінова Г. В. Вплив ферментної обробки на екстрагування беталаїнових барвників. *Актуальні проблеми хімії, матеріалознавства та екології* / Волинський національний університет імені Лесі Українки. Луцьк, 2021. С.120-123.

31. Петрова Ж. О., Пазюк В. М., Самойленко К. М. Комплексна енергоефективна теплотехнологія одержання антиоксидантного буряково-томатного барвнику та насіння томатів. *Scientific Works*. 2022. Т. 2, № 85. С. 102–109.

32. Ярмош Т. А., Перцевой Ф.В. Перспективи використання вичавок у виробництві натуральних барвників. *Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів і аспірантів, присвяченої Міжнародному дню студента (13-17 листопада 2023 р.)*.

33. Ярмош Т. А., Перцевой Ф.В. Перспективи використання плодів сливи для виробництва барвників. *Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ (14-16 травня 2024 р.)*.

34. Ярмош Т. А., Перцевой Ф.В. Перспективи використання ягід бузини чорної для виробництва барвників. *Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ (14-16 травня 2024 р.)*.

35. Ярмош Т. А., Перцевой Ф.В. Перспективи застосування натуральних барвників рослинного походження. *III Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених (Запоріжжя, 30 січня-24 лютого 2023 р.)*

36. Мельник О. Ю., Ярмош Т. А. Розроблення желейного мармеладу з використанням овочевої сировини. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер. «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*. 2023. Вип. 2 (52). С. 44–49.

Стаття надійшла до редакції 31.07.2024 р.



O. Melnyk, R. Shkaraputa
Sumy National Agrarian University

ANALYSIS OF THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF NATURAL BARS USING SECONDARY RAW MATERIALS AND FOOD WASTE

Summary

The use of secondary raw materials and food waste for the production of natural dyes is a promising direction for the development of the food industry. Since, in the process of processing raw materials, from 20 to 60% of waste is generated that is not used. With a significant change in climatic conditions, the cultivation of vegetable raw materials becomes more difficult every year, since we cannot regulate the yield. Therefore, rational processing of raw materials is important. Processing of secondary raw materials and food waste will make it possible to obtain additional products, reduce production costs and reduce the burden on the environment.

It has been established that over the last decade, secondary raw materials and food waste have begun to be studied and researched in detail. Regarding the food industry, secondary raw materials and food waste have received extensive research in the field of food additives (natural dyes). Much research is devoted to the processing of secondary raw materials such as pomace (grapes, elderberries, plums, blueberries, carrots, tomatoes, red beets), whey, and onion and sunflower husks. To obtain dyes, traditional and non-traditional methods of extraction of dyes are used. In the process of extracting pigments, organic and inorganic solvents are used. Some raw materials (for example, berries) contain a high concentration of sugars, organic acids, mineral, phenolic and pectin substances, which make it difficult to obtain concentrated dyes. During the evaporation process, sugars are subjected to the Mayer reaction, that is, they change the organoleptic indicators of the finished concentrates. In order to reduce the mass fraction of sugars, some researchers use an additional technological process, such as fermentation of sugars with the help of brewer's or baker's yeast. The skin of fruit and berry pomace accumulates the largest amount of coloring substances, which makes this raw material a valuable source for natural dyes.

Artificial dyes are the most resistant to light, temperature and pH of the environment. However, they cause hyperactivity in children, allergic reactions, and their half-life substances are carcinogenic and mutagenic. Natural dyes, on the contrary, are not resistant to light, temperature and pH, but they have antioxidant, anti-inflammatory, anti-tumor and antimicrobial properties. Natural dyes can contain antioxidants, vitamins, minerals, carbohydrates, proteins and dyes. Therefore, the main goals of most food industries are to switch from synthetic to natural dyes.

The production of natural dyes in Ukraine has great potential, as Ukraine is one of the largest producers of plant raw materials. Therefore, there is an expediency in introducing new progressive (waste-free) technologies in production with the aim of rational use of raw materials, saving energy resources and improving the environmental condition.

Key words: natural dyes, dyes, extraction, secondary raw materials, extracts, anthocyanins.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-8

УДК 665.2-021.4

Д. В. Нащанський¹,
І. М. Демидов², д.т.н.,
А. О. Демидова³, д.т.н.

ORCID: 0009-0005-4208-6185

ORCID: 0000-0001-5854-0833

ORCID: 0000-0002-4714-3450

¹ПрАТ «Нововодолазький молокозавод»²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»³Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: anastasiia.demydova@tsatu.edu.ua, тел.: +380661799716

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОКИСНЕННЯ ЖИРУ В ТВЕРДОМУ СТАНІ

Анотація. Особливості окиснення жирів в твердій фазі досліджені суттєво менш ретельно порівняно з окисненням рідких жирів. Представлений в цій статті матеріал може доповнити уявлення про цей процес. В результаті досліджень виявлено, що головну роль (найвірогідніше) при цьому відіграло сонячне світло (навіть коли воно розсіяне). Глибина окиснення дуже залежить від відстані між поверхнею твердого жиру та шарами в глибині дослідного зразку. Ця різниця спостерігається до глибини 50 мм, в шарах, що знаходились на більшій відстані від поверхні жиру, окиснення не зафіксовано. В умовах окиснення жиру в присутності сонячного світла, при низьких температурах (-12 °C) в поверхневому шарі дослідного зразку жиру швидкість процесу окиснення несподівано велика (від 0,10 до 12,91 ммоль ½O/кг за 3 доби зберігання). Тобто доведено, що жир у твердому стані при наявності денного світла може окиснюватись з досить великою швидкістю навіть при низьких температурах (-12 °C), окиснення відбувається переважно у поверхневих шарах, а використані антиоксиданти майже не захищають поверхневі шари твердого жиру від окиснення.

Ключові слова: твердий жир, окиснення, низька температура, швидкість процесу, сонячне світло, поверхневий шар, плівка, поліетилен, антиоксидант, шар, глибина.

Постановка проблеми. Особливості окиснення жирів в твердій фазі досліджені не надто ретельно і публікацій на цю тему досить небагато. Необхідно встановити, чи дійсно, поширені для рідких жирів методи захисту від окисного псування доцільно застосовувати для жирів у твердому стані, а також дослідити ефективність методів захисту, поширених для твердих жирів. Представлений в цій статті матеріал може доповнити уявлення про особливості процесу окиснення жирів в твердій фазі.



Аналіз останніх досліджень. Окислення жирів є однією з основних причин погіршення якості харчових продуктів (1). Роль твердих жирів у харчуванні людства є значною, вони використовуються як кулінарні, кондитерські жири в хлібоборошняних, кондитерських виробках, морозиві як самостійна їжа (шоколад, масло, спред) тощо (2). Окислення жиру – природний процес, який відбувається між молекулярним киснем і ненасиченими жирними кислотами через вільнорадикальний ланцюговий механізм. Первинними продуктами окислення завжди є гідропероксиди. Однак вони досить нестійкі і розкладаються на побічні продукти, до яких належать альдегіди, кетони, спирти, епоксидні сполуки і кислоти. Продукти вторинного окиснення викликають неприємний запах і присмак жирів. На швидкість окислення ліпідів впливає багато факторів, включаючи ступінь ненасиченості жирних кислот, тип і концентрацію прооксидантів і антиоксидантів, а також фізичний стан харчової системи (3,4). Окрім цього процесу, відомого як автоокиснення, на жири може впливати фотоокиснення (під дією світла або інших променів). Під дією води відбувається розщеплення жирів з виділенням жирних кислот, що теж певною мірою пришвидшує окиснення. Тобто також світло, рівень вологості слід віднести до важливих причин окиснення жирів (5,6).

Відомо, що тверді жири окиснюються більш повільно за рідкі через їхню більшу насиченість (7). Окислення жирів у твердому стані починається на поверхні жиру, де є прямий контакт із киснем. Зовнішні шари жиру окиснюються першими, утворюючи пероксиди та вільні радикали. Після того як зовнішній шар накопив продукти окиснення, кисень і радикали, що утворилися, проникають глибше, зачіпаючи більш внутрішні шари. У той самий час окиснені продукти з поверхневих шарів можуть діяти як каталізатори, прискорюючи процес у сусідніх областях (8). У міру поглиблення процесу окиснення, кисень і радикали продовжують проникати вглиб жирової маси. Однак швидкість цього процесу зменшується в міру віддалення від поверхні, оскільки доступ кисню стає обмеженим. Зрештою, окиснення призводить до утворення різних вторинних продуктів (наприклад, альдегідів, кетонів, кислот), які можуть мігрувати вглиб жиру, змінюючи його властивості (9).

Формулювання мети статті (постановка завдання). Провести порівняльне дослідження кінетики окиснення твердого жиру.

Завдання:

- 1) дослідити швидкість окиснення твердих жирів за різних температур окиснення;
- 2) дослідити вплив сонячного світла на процес окиснення твердих жирів;



3) дослідити вплив антиоксиданту на гальмування процесу окиснення твердих жирів.

4) дослідити результат окиснення на різному відстані від поверхні бруску твердого жиру.

Основна частина. Одержані результати є, в певній мірі, результатами пасивного експерименту. Так при зберіганні твердого жиру, який являв собою суміш тваринних жирів (головним чином яловичого та свинячого) було помічено, що при зберіганні цього жиру на відкритому повітрі (за межами приміщення, температура зберігання під час досліджень дорівнювала -12°C) під дією розсіяного сонячного випромінювання продукти окиснення жиру накопичуються з незвично великою швидкістю. Зверху жир був накритий плівкою певного типу та діаметру. Досліджувались зміни у поверхневих шарах жиру, які знімалися у вигляді стружки на глибину 10 мм.

При цьому в поверхневих шарах жиру за короткий термін помітно зростав вміст продуктів окиснення, який фіксувався за допомогою пероксидного числа - ПЧ (ммоль $\frac{1}{2}\text{O}/\text{кг}$), визначався у відповідності з офіційним методом AOCS Cd 8b-90 (AOCS, 2017), відповідає ДСТУ ISO 3960 –2001 «Жири та олії тваринні і рослинні. Визначання пероксидного числа». Досить незвичним є сам факт накопичення пероксидних сполук за такий короткий проміжок часу і за таких низьких температур. Особливо, якщо звернути увагу на жирнокислотний склад цього жиру. Жирнокислотний склад зразка твердого жиру наведено в табл.1, характеризується високим вмістом насичених та мононенасичених жирних кислот, що притаманно тваринним жирам.

Здатність до окиснення є не зовсім звичною, бо такі зразки жиру, з таким низьким вмістом ненасичених жирних кислот, як вважається (10,11), характеризуються повільним окисненням. Незвичність з'явлення та накопичення пероксидних сполук проявляється і в тому, що температура реакції була надто низька і в умовах відсутності сонячного випромінювання, як нами було зафіксовано раніше, пероксидні сполуки накопичуються зі значно меншою швидкістю.

В подальших дослідженнях ми спостерігали зміни в поверхневих шарах твердого жиру за показником ПЧ. Також при дослідженні зразків жиру було встановлено, що показник ПЧ жиру сильно залежить від відстані з поверхні зразку до його внутрішніх шарів. Для дослідження залежності зростання ПЧ від відстані з поверхні до більш глибоких шарів жиру використовували спеціальний пристрій. Цей пристрій дозволяв зрізати шари дослідного зразка жиру товщиною $3\text{мм} \div 5\text{мм}$. При цьому було встановлено, що показник ПЧ зразка жиру падає при зберіганні від самої поверхні, де показник ПЧ максимальний, до внутрішніх шарів, де ПЧ жиру дорівнює показнику



ПЧ, з яким жир закладали на зберігання. Максимальна різниця між ПЧ в поверхневому

Таблиця 1

Жирнокислотний склад дослідного зразка твердого жиру

	Найменування жирної кислоти	Вміст жирної кислоти, % від загальної кількості
C10:0	капринова	0,05
C12:0	лауринова	0,12
C14:0	міристинова	1,20
C15:0	пентадеканова	0,08
C16:0	пальмітинова	28,20
C16:1	пальмітолеїнова	1,10
C17:0	маргарінова	0,28
C17:1	гептадеценева	0,13
C18:0	стеаринова	18,00
C18:1	олеїнова	35,00
C18:2	линолева	19,60
C18:3	линоленова	0,18
C20:0	арахінова	0,26
C20:1	ейкозенова	0,35
C20:2	ейкозадієнова	0,21
C20:4	арахідонова	0,12
C22:0	бегенова	0,25

шарі і шарах, глибших за 50 мм може досягати різниці в 15÷16 разів. Було доведено, що окиснення не відбувається в шарах, які знаходяться на відстані від поверхні на глибину 50 мм на більше. ПЧ зразків з цієї глибини на будь-якому терміні зберігання (впродовж 4 діб) дорівнювали ПЧ початкового зразку (до окиснення), тобто 0,19 ммоль $\frac{1}{2}\text{O}$ /кг.

При подальших дослідках показник ПЧ досліджували тільки в поверхневому шарі товщиною 10 мм. При цьому декілька шарів, товщиною, меншою за 5 мм до значення товщини 10 мм ретельно перемішували і лише потім визначали показник ПЧ. Значення накопичення ПЧ при зберіганні при низькій температурі та при доступі сонячного випромінювання наведено в табл. 2 та 3.

Найбільш поширеним способом захисту жирів від окисного псування є застосування антиоксидантів. При невеликих дозволених до використання концентраціях (не вище 0,2 мг/кг жиру) синтетичних антиоксидантів, вони можуть гальмувати окислення олій у 2-10 разів, залежно від типу олії та умов зберігання (2-4). В дослідженні



встановлювали кінетику окиснення того ж зразку твердого жиру, якій містив 0,04 % поширеного антиоксиданту «Гріндекс 552». Результати наведено у табл. 3. Вони свідчать про відносно нижчу ефективність у сповільненні окиснення дослідженого твердого жиру, порівняно з відомими показниками пригнічення окиснювальних процесів у рідких оліях (2-4).

Таблиця 2

Дослідження кінетики накопичення пероксидних сполук зразком твердого жиру при його зберіганні за температури -12 °C

Термін зберігання, доба	Значення пероксидного числа, ммоль $\frac{1}{2}\text{O}$ /кг				
	Зразки за номерами *				
	1	2	3	4	5
0	0,19 ± 0,06				
1	3,74 ± 0,09	1,64 ± 0,05	3,56 ± 0,04	5,58 ± 0,08	0,52 ± 0,05
2	9,32 ± 0,12	4,56 ± 0,10	4,26 ± 0,08	6,38 ± 0,05	0,73 ± 0,08
3	12,91 ± 0,15	4,63 ± 0,09	4,52 ± 0,18	7,49 ± 0,15	1,37 ± 0,11
4	-	4,72 ± 0,11	5,26 ± 0,13	-	1,37 ± 0,09

* 1 – зразок жиру, упакований в прозорий поліетилен товщиною 10 мкм; 2 – зразок жиру, упакований в поліетилен синього кольору товщиною 45 мкм; 3 - зразок жиру, упакований в прозорий поліетилен товщиною 35 мкм; 4 - зразок жиру, упакований в прозорий поліетилен товщиною 25 мкм; 5 – зразок жиру без доступу світла, зберігався в рідкому стані при 50 °C в склянці Петрі шаром 1÷1,2 мм.

Таблиця 3

Дослідження кінетики накопичення пероксидних сполук зразком твердого жиру, якій містив 0,04 % антиоксиданту «Гріндекс 552» (температура зберігання -12 °C)

Термін зберігання, доба	Значення пероксидного числа, ммоль $\frac{1}{2}\text{O}$ /кг		
	Зразки за номерами **		
	6	7	8
0	0,19 ± 0,06		
1	2,23 ± 0,09	3,71 ± 0,11	0,46 ± 0,04
2	3,14 ± 0,10	6,48 ± 0,13	0,54 ± 0,04
3	5,40 ± 0,13	7,14 ± 0,14	0,77 ± 0,06
4	8,24 ± 0,16	9,62 ± 0,14	0,91 ± 0,07

** 6 – зразок жиру, упакований в прозорий поліетилен товщиною 10 мкм; 7 - зразок жиру, підготовлений за рахунок формування в вотаторі, упакований без поліетилену; 8 – зразок жиру, зберігався без доступу світла при 50 °C в рідкому стані в склянці Петрі шаром 1÷1,2 мм.



Не зважаючи на досить невеликий обсяг експериментального матеріалу, цей матеріал дає змогу досить впевнено прийти до деяких заключень. Перш за все, можна заключити, що сонячне випромінювання, навіть розсіяне, впливає на швидкість окиснення жиру в дуже значній (визначній) мірі. Про це явно свідчить різниця між швидкістю окиснення жиру при температурі -12°C і при температурі $+50^{\circ}\text{C}$ (порівняння зразків за номерами 1 та 5, 6 та 8) таблиць 2 і 3. Як видно, не зважаючи на велику різницю в температурі окиснення, швидкість окиснення зразків жиру при низькій температурі, але з доступом денного світла (навіть розсіяного) значно більша за швидкість окиснення жиру при значно вищій температурі але без доступу світла. Виявлено, що навіть додавання антиоксиданту («Гріндекс 552» 0,04%) в кількості близькій до максимально можливої, не досить впевнено захищає жир в цих умовах від окиснення. Також встановлено, що проміні денного світла сприяють окисненню зразків твердого жиру на досить невелику глибину (не більше ніж 50 мм).

Як заключення з цього спостереження можна пропонувати не зберігати жири при доступі денного світла (що є досить банально). Але, якщо вже так сталося, що твердий жир зберігався на вулиці, під дією денного світла, то з такого жиру потрібно видалити поверхневий шар певної товщини (товщина шару, вочевидь, залежить від терміну зберігання, складу жиру та інтенсивності світла) і ці залежності ще потрібно буде досліджувати для жирів різного жирнокислотного складу окремо. Видаливши поверхневий шар жиру, який потрібно відправити або на повторну рафінацію, або на технічні цілі, можна стверджувати, що останній жир (жир більш глибоких шарів) цілком придатний до харчового використання.

Крім того можна заключити, що швидкість окиснення жиру також певною мірою залежить від товщини пакувальної поліетеленової плівки (порівняння зразків 1 і 3, табл. 2) а також його (поліетилену) кольору (порівняння зразків 2 і 3 табл. 2).

Також встановлено, що антиоксидант «Гріндекс 552» доданий до досліджених нами зразків жиру в кількості близькій до максимальної, знижує швидкість окиснення жиру в твердому стані – приблизно в 2,4 рази (зразки 1 та 6 табл. 2,3), у рідкому стані – в 1,5 рази (зразки 5 та 8).

Висновки. Проведене порівняльне дослідження кінетики окиснення твердого жиру.

Жир у твердому стані (тваринний) окиснюється з досить великою швидкістю навіть при низькій температурі (-12°C) за умови наявності денного світла.



Найбільш звичні антиоксиданти, навіть в умовах низької температури (-12°C), але при наявності денного світла, майже не захищають твердий жир (тонкий поверхневий шар) від окиснення.

Жир у твердому стані окиснюється головним чином лише з поверхні, на глибину до 50 мм. Ступінь окиснення тим більша чим ближче шар жиру приближений до кордону між твердим жиром і повітрям.

Список використаних джерел

1. Nieva-Echevarría Bárbara, Encarnación Goicoechea and María D. Guillén. Food lipid oxidation under gastrointestinal digestion conditions: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2020. № 60(3). P. 461–478.
2. Vu T. P., Gumus-Bonacina C. E., Corradini M. G., He L., McClements D. J., Decker E. A. Role of solid fat content in oxidative stability of low-moisture cracker systems. *Antioxidants*. 2022. № 11(11). P. 2139.
3. Schwingshackl L., Bogensberger B., Benčič A., Knüppel S., Boeing H., Hoffmann G. Effects of oils and solid fats on blood lipids: a systematic review and network meta-analysis. *Journal of Lipid Research*. 2018. № 59(9). P. 1771–1782.
4. Demydova A., Yevlash V., Aksonova O., Tkachenko O., Kameneva N. Antioxidant activity of plants extracts of Ukrainian origin and their effect on the oxidative stability of sunflower oil. *Food Science & Technology*. 2022. № 16(3). P. 55–64.
5. Abeyrathne E. D. N. S., Nam K., Ahn D. U. Analytical methods for lipid oxidation and antioxidant capacity in food systems. *Antioxidants*. 2021. № 10(10). P. 1587.
6. Zhao Y.C., Shi H.H., Wang C.C., Yang J.Y., Xue C.H. The enrichment of eggs with docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid through supplementation of the laying hen diet. *Food Chem*. 2021. № 346. P. 12895.
7. Hu, M., & Jacobsen, C. (Eds.). *Oxidative stability and shelf life of foods containing oils and fats*. 2016.
8. Manzoor S., Masoodi F. A., Naqash F., Rashid R. Oleogels: Promising alternatives to solid fats for food applications. *Food Hydrocolloids for Health*. 2022. № 2. P. 100058.
9. McClements D. J., Decker E. A. Lipid oxidation in oil-in-water emulsions: impact of molecular environment on chemical reactions in heterogeneous food systems. *Journal of Food Science*. 2000. № 65(8). P. 1270–1282.
10. Laguerre M., Bily A., Birtic S. Oxidation of lipids in food. *Lipids and Edible Oils—Properties, Processing, and Applications; Galanakis, CM, Ed*. 2020. P. 243–287.



11. Півень О. М. Технологія стабілізації жирів щодо окиснювального псування. Київ: Аграрна наука НААН, 2021. 124 с.

Стаття надійшла до редакції 01.08.2024 р.

D. Nashchanskyi¹, I. Demidov², A. Demydova³

¹Private joint-stock company Novovodolaz dairy, Ukraine

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

³Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

RESEARCH OF THE FEATURES OF FAT OXIDATION IN THE SOLID STATE

Summary

The peculiarities of the oxidation of fats in the solid phase have been studied significantly less thoroughly compared to the oxidation of liquid fats. The material presented in this article can supplement the idea of this process. As a result of research, it was found that the main role (most likely) will be played by sunlight (even when it is diffused). The depth of oxidation depends greatly on the distance between the surface of the solid fat and the layers in the depth of the test sample. This difference is observed up to a depth of 50 mm, in the layers that were at a greater distance from the fat surface, oxidation was not recorded. In the conditions of fat oxidation in the presence of sunlight, at low temperatures (-12 °C) in the surface layer of a test sample of fat, the speed of the oxidation process is unexpectedly high. In the surface layer of fat, the rate of the oxidation process is unexpectedly high. Thus, for 3 days of storage of solid fat, the peroxide number increased from 0,1 to almost 13 mmol $\frac{1}{2}$ O/kg, and widespread antioxidants do not slow down such oxidation very much. This is a fact that is unusual and surprising. A fairly significant effect on the oxidation process of solid fat is observed when this fat is protected with polyethylene film. At the same time, as it was recorded, the influence of the thickness of such a film and its color becomes quite noticeable. That is, it has been proven that fat in a solid state in the presence of daylight can oxidize at a fairly high speed even at low temperatures (-12 °C), oxidation occurs mainly in the surface layers, and the antioxidants used almost do not protect the surface layers of solid fat from oxidation.

Key words: solid fat, oxidation, low temperature, process rate, sunlight, surface layer, film, polyethylene, antioxidant, layer, depth.



DOI: 10.31388/2220-8674-2024-24-1-9

УДК 641.881:58.009

Т. В. Семко¹, к.т.н., доц.,
О. А. Іваніщева¹, ст.викл.,
О. В. Пахомська¹, ст.викл.
А. Гаспарян²

ORCID: 0000-0002-1951-5384

ORCID: 0000-0002-0500-3652

ORCID: 0000-0002-0915-8811

¹Вінницький торговельно-економічний інститут ДТЕУ²Засновницяпряного бренду «Asmik@asmik_spices», засновниця кондитерської студії @asmikolas, шеф-кухар, переможниця VI сезону кулінарного шоу «Мастер шеф», випускниця кулінарної школи «Le Cordon Bleu»

e-mail: olana1980@ukr.net, тел.: +380987878853

СТВОРЕННЯ «ВІННИЦЬКОЇ» СОЛІ ШЛЯХОМ ВНЕСЕННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДИКОРΟΣІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ІННОВАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

Анотація. Стаття присвячена створенню «Вінницької» солі шляхом внесення смаків рослинної сировини дикоросів з використанням інноваційного обладнання АМС. В статті узагальнено види та способи виробництва солі, досліджено виготовлення солі, збагаченої ароматами та корисними речовинами з дикорослої сировини Вінниччини. Обґрунтовано вибір дикорослої сировини шляхом характеристики її властивостей. Запропоновано рецептуру солі «Вінницька» на основі солі об'єднання Артемсіль з використанням дикоросів. Приділено увагу використанню високотехнологічного обладнання АМС та Термомікс для оптимізації процесів виробництва та забезпечення якісного і конкурентоспроможного продукту.

У статті проаналізовано переваги інтелектуального посуду АМС для користувачів, висвітлено особливості інноваційної системи приготування їжі АМС Premium Cooking System.

Результати дослідження можуть бути корисними для виробників солі та фахівців у сфері харчової промисловості, які цікавляться підвищенням якості та розширенням асортименту продукції.

Дослідження проведено на обладнанні навчальної лабораторії технології ресторанної продукції Вінницького торговельно-економічного інституту ДТЕУ, доведено раціональність використання посуду АМС для удосконалення технологічних можливостей при оптимальних температурах та функції контролю, що є важливим показником системи НАССР.

Ключові слова: технології, сіль, локальні продукти, дикороси, властивості, рецептура, АМС, Термомікс.

Постановка проблеми. В Україні зростає інтерес до природних ресурсів та зростаючих вимог до сталого виробництва, що робить



використання дикоросів актуальним напрямком досліджень. Дикороси, як рослини, що ростуть в природних умовах без спеціального вирощування, мають потенціал для використання в різноманітних галузях, зокрема у харчовій промисловості, фармацевтиці, косметичі та інших галузях.

Головні причини вивчення і застосування дикоросів включають їхні унікальні характеристики, такі як вміст корисних речовин, адаптація до екологічних умов, біорізноманіття та потенціал для використання в інноваційних технологіях. Враховуючи зростання свідомості щодо екологічних проблем та потреб у сталому розвитку, дослідження дикоросів мають стратегічне значення для розширення ресурсної бази, зменшення негативного впливу на природу та створення нових продуктів з високою доданою вартістю.

Аналіз останніх досліджень. В Україні мало хто займався впровадженням локальної, а також дикорослої сировини в меню ресторанів. Одним з перших бренд-шефів, що підняла питання дикоросів стала засновниця пряного бренду «Asmik@ asmik_spices Асмик Гаспарян, яка виготовила мапу України з дикоросів та використала їх в приготуванні пряної солі. Шеф-кухарі Юрій Ковриженко та бренд-шеф Олена Жаботинська, запровадили в Україні тенденцію використання в ресторанах локальних їстівних квітів.

Формування цілей статті (постановка завдання). Метою статті є узагальнення видів та способів виробництва солі, розробка рецептури солі «Вінницька» з використанням дикоросів, обґрунтування вибору дикорослої сировини шляхом характеристики її властивостей, дослідження особливостей виготовлення солі, збагаченої ароматами та корисними речовинами з дикорослої сировини Вінниччини з використанням високотехнологічного обладнання АМС та Термомікс.

Основна частина. На території України сіль добували в соляних шахтах, що називалися «криниця», або «вікна», дуже важким способом. Тому навіть в 17 столітті її не додавали при приготуванні страв, а ставили на стіл і «солили» безпосередньо в тарілку, що було спричинено її дорожнечою.

В Європі сіль теж була досить дорогим продуктом. В деяких країнах існував навіть податок на сіль. Карл Анжуйський, Філіп IV, Філіп III Добрий, Папа Римський Павло III, король Вільгельм III, Петро I, Наполеон. Всі вони встановлювали податки на сіль, але більшість спроб закінчувалася бунтами.

Так, в 16 столітті, після запровадження нових податків в Нідерландах іспанським королем Філіппом II там спалахнула революція, що перетворилася на війну за незалежність.

В Британській Індії, з боротьби проти цього податку Махатма Ганді в 1930 році розпочав кампанію непокори. «Соляний похід»



прихильників незалежності тривав майже місяць і, зрештою, вони досягли Індійського океану біля гуджаратського містечка Данді. Ганді демонстративно підняв з прибережного піску кристали солі й тим самим демонстративно порушив закон.

Україна має великі та унікальні за якістю поклади сировини для кухонної солі. За хімічною чистотою їх можна вважати найкращими у світі. Основні запаси розташовані на території Донбасу, Придніпровської низовини, Прикарпаття та Закарпаття, а також у Криму.

Крім кам'яної солі є родовища, представлені ропою озер, а також пов'язані із зосередженням підземних розсолів. Запаси кам'яної солі та природних розсолів в Україні досить значні й при сучасному рівні видобутку практично невичерпні.

Запаси становлять понад 9 мільярдів тонн по категорії (А + В + С). Найбільші запаси кам'яної солі зосереджені на Донбасі, де у потужних пластах на незначних глибинах (Слов'янськ, Соледар, Бахмут) залягають ресурси дуже високої якості [18].

Тут видобувається найбільша кількість кам'яної солі в Європі. В обмежених обсягах виварну сіль видобувають у Дрогобичі, Калуші, Долині (Прикарпаття).

Родовища кам'яної солі виявлено також на Лівобережжі в межах Дніпровсько-Донецької западини (біля Лубнів, на горі Золотусі біля Ромен).

Цінні продукти одержують із вод Сакського озера та Перекопської групи соляних озер. Значні запаси солі мають інші розташовані на півдні України озера і лимани.

Кухонна сіль (ДСТУ 3583:2015 «Сіль кухонна. Загальні технічні умови») являє собою білу кристалічну речовину. За способом виробництва її поділяють на виварну, кам'яну або морську. Найбільшу кількість кухонної солі отримують шляхом випарювання розсолів під вакуумом. Таким чином отримують найчистішу і найякіснішу сіль.

Кам'яна сіль – це наша Артемсіль, що видобувалась у соляних шахтах і була достатньо світлого кольору навіть без переробки. Зазвичай, на інших родовищах природний колір кам'яної солі є досить темним. Це та сама сіра сіль, що виглядає наче забрудненою. Для продажу до споживання у їжу її штучно освітлюють, очищуючи хімікатами і/або високими температурами. Або не очищують, що значно здешевляє собівартість.

Кам'яну сіль добувають з мінеральних покладів (рис. 1).



Рис. 1. Об'єднання «Артемсіль»

Сіль характеризується високим вмістом хлориду натрію – до 98-99 %, а також наявністю практично всіх природних життєво необхідних мікроелементів і підвищеною екологічною чистотою. Це обумовило широкий попит на артемівську сіль як в Україні, так і за кордоном, зокрема в країнах СНД та Західної Європи [16, 17].

Оскільки сіль має статус «речовини, визнаної повністю безпечною» (Generally Recognized As Safe-6 GRAS), сіль харчового класу по своєму хімічному складу повинна задовольняти вимоги Кодексу по харчовій хімії (Food Chemicals Codex). Для солі, отриманої шляхом випарювання під вакуумом, вміст чистого NaCl повинен бути не менше 99 %. В основному, кухонна сіль промислового виробництва має чистоту 99,8-99,9 %.

Науковцями встановлено, що середнє щоденне споживання солі становить в діапазоні 200-500 мг натрію на день (або 0,5-1,25 г солі) [19].

Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) і Європейський Союз (ЄС) розробили стратегії зменшення споживання хлориду натрію (NaCl, «солі») населенням країн світу [20].

Існують різні класифікації солі, в основі яких – смакові якості, солоність, розмірні параметри, форма, колір, вміст мікроелементів із відповідною користю.

Головна класифікація солі, що ґрунтується на способі її видобутку та очищення, виділяє такі види:

- кам'яна (мінеральна). Видобувається в шахтах у вигляді кристалічних брил. Утворення відбувається завдяки наявності засолених джерел;

- морська. Береться з концентрованого сонцем розсолу, що формується на ділянках, залитих солоною водою. Може зішкрібатися, сушитися й іноді перекристалізовуватися або виморожуватися шляхом поміщення морської води в холодні умови;

- осадова. Видобуток полягає у водовипарюванні солончаків або підземних соледжерел;

- самосадочна. Її джерела – «соляні водоспади». Технологія отримання полягає в природному випаровуванні морської води з порожнин у гірських породах;

- виварювальна. Виварюється з розсолів натуральної чи штучної етимології [8].

Види солі за способом обробки:

- дрібнокристалічна (з розміром крупинок менше 0,5 мм);

- мелена (крупність помелу – в діапазоні 0-3);

- немелена (комова, дроблена та зернова).

З огляду на крупність помелу, сіль може поставлятися під номерами 0, 1, 2 і 3, що вказують на відповідний калібр.

Спеціальні види солі: йодована та вітамінізована [1].

За наявністю добавок у структурі продукту сіль може бути з добавками (фтору, йоду, антизлежувачів...) і без них. Вміст хлориду натрію, домішок та колірні параметри визначають існування 4-х товарних сортів: Екстра, вищий, 1-й та 2-й. Сіль Екстра, що на 99 % складається з хлористого натрію і є найбільш дрібною, може бути тільки білого кольору, тоді як в інших сортах допустимі деякі відтінки, як от сіруватий, рожевий і жовто-рожевий (рис. 2).



Рис. 2. Зовнішній вигляд видів сумішей солей

Кам'яна і морська сіль для харчових потреб повинна містити не менше 97,5 % NaCl. У багатьох країнах сіль вважають багатофункціональним інгредієнтом, сіль дуже добре розчиняється у воді. Інші фізичні параметри солі:

– діелектрична проникність – 6,3.

– точка кипіння - 1413 ° C;

– розчинність у воді - 359 г/л (25 ° C).

За органолептичними показниками кухонна сіль повинна відповідати вимогам, зазначеним у табл. 1.



Таблиця 1

Органолептичні показники якості солі

Назва показника	Характеристика солі, гатунків
Зовнішній вигляд	Кристалічний сипкий продукт. Наявність сторонніх механічних домішок, не пов'язаних з походженням солі, не допускається
Смак	Солоний без стороннього присмаку
Колір	Білий
Запах	Відсутній

За фізико-хімічними показниками кухонна сіль повинна відповідати нормам, зазначеним у табл. 2.

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники якості солі

Назва показника	Норма у перерахунку на суху речовину для гатунку	
	екстра	вищий
Масова частка хлористого натрію, %, не менше, ніж	99,50	92,80
Масова частка кальцій-іона, %, не більше, ніж	0,02	0,35
Масова частка магній-іона, %, не більше, ніж	0,01	0,08
Масова частка сульфат-іона, %, не більше, ніж	0,20	0,85
Масова частка калій-іона (для продукту без йодної добавки), %, не більше, ніж	0,02	0,10
Масова частка оксиду заліза (III), %, не більше, ніж	0,005	0,040
Масова частка сульфату натрію, %, не більше, ніж	0,20	Не регламентується
Масова частка нерозчинного у воді залишку (н.з.), %, не більше	0,03	0,16

Зовнішній вигляд солі при оцінці її якості має важливе значення. Сіль має складатися з кристалів певного розміру, відповідних номеру помелу. Не допускається в солі наявність помітних на око сторонніх механічних домішок, які не пов'язані з походженням солі [5]. Сіль чиста запаху не має. Запах солі визначають відразу ж після розтирання близько 20 г її в чистій фарфоровій ступці. Колір солі



залежить від способу отримання і її походження. В сорті вищому і екстра він білий, в інших сортах допускається жовтий, сіруватий, рожевий або блакитнуватий відтінки. Смак солі всіх сортів повинен бути чистосолоним без сторонніх присмаків, визначають в 5%-ному розчині, приготовленому на дистильованій воді.

Окрім звичної для нас кам'яної солі, існує багато інших видів – fleurdesel, maldon, чорна гімалайська сіль, гавайська сіль, грибна, конопляна, копчена та сванська сіль та ін.

Fleurdesel. Сіль пластівцями. Як правило, це морська сіль. В залежності від місця походження відрізняється формою, зовнішнім виглядом, вологістю та ступенем солоності. Кристали цієї солі ростуть по краях соляних ванн у процесі випаровування води. Збирають їх руками на певному етапі росту. Найпопулярніша сіль пластівцями з французького острова Рьо, молдонська сіль з південного сходу Англії та португальська сіль.

Дрібна поварена сіль. Має кам'яне або осадове походження. Виготовляється методом неодноразової перекристалізації розсолу. Має максимальну чистоту – не менше 97%.

Maldon. Морська сіль, походженням з району Молдон, в графстві Ессекс, Англія. Видобувається з кінця 19 століття. Має форму плоских кристалів до 1 см.

Чорна та рожева гімалайська сіль. В складі має багато сульфіту заліза, який надає солі темно коричневий/фіолетовий колір. В рожевий її фарбує хлористий калій та залізо, а колір варіюється від світлого до темного рожевого. Місце видобутку – Гімалаї, Непал, Індія.

Рожева гавайська сіль. Осадочна морська сіль, яку спочатку збирали на Гаваях. Зараз основне місце видобутку – Каліфорнія. Яскравий рожево-коричневий колір надає включення глини в її склад.

Козацька ароматизована конопляна сіль – це збалансоване поєднання конопель, морської солі, рослин. Козацька ароматизована конопляна сіль виводить зайву вологу з організму, допомагає схудненню, має протипаразитарні властивості та усуває головний біль (не пов'язаний із травмами). Підвищує імунітет, розріджує кров, при довготривалому вживанні допомагає при артриті.

Коноплі відновлюють кислотно-лужний баланс, мікрофлору при дисбактеріозах та запаленнях КШТ завдяки мікроелементам: калію, кальцію, магнію, залізу та цинку. Полін збільшує вироблення і відтік жовчі, має антисептичний ефект, стимулює виділення шлункового соку і знімає запалення. Також полін здавна вживали для профілактики інфарктів та інсультів. Продукт містить вітаміни: Е, С, В₁, В₂, В₆ амінокислоти, Омега-6 та Омега-3, запобігає зсіданню крові та гіпотонії.

Склад Козацької ароматизованої конопляної солі: мелені коноплі столових сортів, випарена морська сіль, полин та рослини (дикий кріп, кропива, конюшина, кульбаба, амарант, лобода, меліса, подорожник, кислиця та черемша).

Ароматизовані солі. Таких видів солі дуже багато – копчена на вуглях, мішана сіль зі спеціями, сушеними овочами, травами. Цікава корейська бамбукова сіль – вона запікається у бамбуку, або слов'янська четвергова сіль, яка спочатку використовувалася, як ритуальна. Для її приготування морську сіль змішують з вологим житнім хлібом та запікають у попелі. Потім дрібно перетирають в ступці.

Сьогодні дедалі частіше впроваджується тенденція «розумної» кухні, «розумної» їжі і розумне використання локальних продуктів. Це ще раз підтверджує актуальність дослідження незвичного бачення вектору української кухні – страви на основі сировини, яку дає природа, ліс, поле: жолуді, кульбаби, смерекові голочки, лопух, ін. Коренем лопуха замінюють коренеплоди, листям – шпинат, використовують як додаток до супів і навіть начинку для пирогів.

Сучасні дослідження підтверджують, що дикороси можуть стати 100% українським ексклюзивом, тобто на основі нашої локальної кухні має бути створена нова.

Нами запропоновано для створення солі «Вінницької» як основу використати мінеральну (природну) форму хлориду натрію (NaCl) – це галіт, широко відомий як кам'яна сіль. Також для виготовлення солі «Вінницької» застосувати інноваційне обладнання AMC Premium Cooking System та Термомікс 6 [2-7](рис. 3).



Рис. 3. Термомікс 6

Сировинний та кількісний склад солі «Вінницька» представлено у табл. 3.

Таблиця 3

Рецептура солі «Вінницька»

Назва сировини	Маса, бруutto, г
Сіль кам'яна	820
Любисток (насіння)	50
Кропива	30
Дикий кріп (дикий фенхель)	20
Кульбаба польова (коріння)	20
Амарант	50
Лобода	50
Меліса	10
Вихід	1000

*Амарант-смажене насіння, кульбаба - сухе коріння.

Окремі етапи технологічного процесу приготування солі «Вінницька» бренд-шефом Асмик Гаспарян у рамках майстер-класу у Вінницькому торговельно-економічному інституті проілюстровано на рис. 4.



Рис. 4. Майстер-класу з приготування солі «Вінницька», бренд-шеф Асмик Гаспарян

Властивості дикорослої сировини, що використовувалася у процесі приготування солі «Вінницька», представлено нижче.

Любисток є дуже поширеною пряною та лікарською рослиною Вінниччини. Він має сечогінну, вітрогонну, спазмолітичну (знімає кишкові коліки), відхаркувальну, заспокійливу, болезаспокійливу, тонізуючу серцеву функцію, збуджує апетит, активізує статеву функцію у чоловіків і нормалізує перебіг місячних у жінок.

Корінь любистка застосовують при виразковій хворобі шлунка і дванадцятипалої кишки, метеоризмі, запорах, запальних



захворюваннях сечовивідного тракту, запальних захворюваннях печінки і жовчних проток, бронхіті і пневмонії, захворюваннях нервової системи. Зовнішньо використовують при гнійних ранах, діабетичному пародонтозі, виразках, пролежнях [9].

Кропива має кровоспинний ефект. Поряд з цим листя рослини надає жовчо- і сечогінну дію, нормалізує ліпідний обмін, стимулює регенерацію тканин, у тому числі слизових оболонок шлунка і кишечника [10].

Дикий кріп містить життєво необхідні компоненти – залізо, фосфор, марганець, селен, кальцій. Також кріп містить ряд кислот. Так як до складу овочевої культури входять ефірні олії та фітонциди, вона має антисептичні та протизапальні властивості. Це дозволяє використовувати плоди пахучого кропу в боротьбі з вірусними захворюваннями, а також при кашлі. Зокрема, насіння рослини застосовується для стимуляції секреції бронхів. Особливо властивості кропу цінні при в'язкій мокроті або при сухому кашлі. Настій з коренів рослини знижує артеріальний тиск, стимулює секрецію молочних залоз. Також рослина має сечогінний ефект, тому її з обережністю варто застосовувати людям із сечокам'яною хворобою та нестачею калію в організмі [11].

Кульбаба польова використовується у багатьох галузях медицини. Та все ж найбільше рослина застосовується у гастроентерологічній практиці. Біологічно активні речовини, що містяться в кульбабі здатні особливим чином подразнювати смакові рецептори. Внаслідок чого, мозок подає сигнал в шлунок, та починається активне вироблення шлункового соку. Через декілька хвилин пацієнт відчуває бажання поїсти.

Кульбаба впливає на всі травні залози. Саме тому рослині приписують жовчогінні, спазмолітичні, обволікаючі та проносні властивості [12].

У сучасній практиці амаранту приписують такі характеристики:

- вживання амарантового насіння в їжу, особливо в холодну пору року, допомагає зміцнити імунну систему, що, у свою чергу, підвищує опірність організму до інфекцій та вірусів;

- використання амаранту в комплексі з традиційною терапією підвищує ефективність боротьби зі злоякісними новоутвореннями, зупиняє зростання ракових клітин, а регулярне вживання насіння дозволяє знизити ризик появи подібних недуг;

- швидко впливає на рани та виразки, що важко піддаються загоєнню, допомагає при опіках.

- ефективною є рослина і для відновлення роботи шлунково-кишкового тракту, зокрема при лікуванні виразкових хвороб та гастритів;



- амарант використовується і в стоматології: стоматити проходять значно швидше після застосування цієї рослини [13].

Лобода біла має антибактеріальні та естрогенні властивості, що експериментально доведено. У вітчизняній та зарубіжній народній медицині використовують траву та насіння лободи білої, що має протизапальну, болетамувальну, седативну, відхаркувальну, проносну, сечогінну і протигельмінтну дію. Всередину настій трави приймають при бронхітах, туберкульозі легень, гастралгії, виразковій хворобі, запаленні та спазмах органів травлення, метеоризмі, хворобах печінки і селезінки, при неврастенії, істерії, мігрені, паралічах, судомі, гіпергідрозі та золотусі.

- Зовнішньо настій лободи білої використовують при карієсі зубів, дерматитах та інших захворюваннях шкіри, проти укусів комах. Припарки з трави мають болезаспокійливу дію й рекомендуються при ревматизмі та радикуліті, при мозолях тощо. Порошком із сухого листя присипають запрілості у дітей. Сік рекомендують при істерії й тепловому ударі. Свіже листя має протицинготну дію. До лікувально-профілактичного раціону рекомендується включати салати з молодого листя лободи білої. В народній медицині свіжий сік трави та відвар коренів лободи доброго Генріха та лободи червоної використовують для лікування пухлин [14].

Меліса відома своїми визначними корисними властивостями завдяки багатому складу, що включає ефірні олії, дубильні речовини, флавоноїди, фенольні кислоти та інші біологічно активні сполуки. Її основні лікувальні властивості:

- заспокійлива дія: меліса знижує рівень стресу та тривожності, покращує якість сну та нормалізує настрій;

- протизапальна та антивірусна дія: високий вміст антиоксидантів та ефірних олій допомагає у боротьбі із запаленнями та вірусними інфекціями;

- спазмолітична властивість: меліса знижує спазми гладкої мускулатури, що сприяє полегшенню симптомів при шлунково-кишкових розладах та менструальних болях;

- антиоксидантний ефект: сприяє захисту клітин від оксидативного стресу, знижуючи ризик хронічних захворювань;

- поліпшення травлення: настої та чаї з меліси допомагають при здутті живота, нудоті та інших порушеннях роботи травної системи [15].

Висновки. Нами у статті запропоновано технологію з описаною рецептурою солі «Вінницької» шляхом внесення смаків рослинної сировини дикоросів з використанням інноваційного обладнання АМС.

У статті узагальнено види та способи виробництва солі, досліджено виготовлення солі, збагаченої ароматами та корисними



речовинами з дикорослої сировини Вінниччини. Приділено увагу використанню високотехнологічного обладнання АМС та Термомікс для оптимізації процесів виробництва та забезпечення якісного і конкурентоспроможного продукту.

Перспективним напрямком подальших досліджень є детальне вивчення переваг заснування устаткування АМС Premium Cooking System та використання «Вінницької» солі у харчовій промисловості.

Список використаних джерел

1. Види солі, які використовуються при приготуванні їжі. URL: <https://www.systopt.com.ua/article-vydy-soli-yaki-vykorystovuyutsya-pri-priygotuvanni-yizhi> (дата звернення 10.07.2024)
2. Сторінка у фейсбук. URL: https://www.facebook.com/p/Smart-Cooking-Club-100077716720463/?locale=nb_NO (дата звернення 01.08.2024)
3. Офіційний сайт продукції. URL: <https://www.smartcooking.com.ua/?fbclid=IwAR3rYZM0Fl8emePRXVDqmNCrC7xhe> (дата звернення 23.07.2024).
4. Smart Cooking Club. URL: <https://www.cookingwithamc.info/about> (дата звернення 03.08.2024).
5. Сторінка в Інстаграм. URL: <https://www.instagram.com/p/CoZb2UmIfQ5/> (дата звернення 25.07.2024).
6. AMC India: смачне, корисніше та швидше приготування їжі за допомогою системи приготування їжі AMC Premium URL: <https://enterprise-services.siliconindia.com/vendor/amc-india-delicious-healthier-faster-cooking-with-the-amc-premium-cooking-system-cid-13901.html> (дата звернення 01.08.2024).
7. Семко Т. В., Іваніщева О. А., Пахомська О. В. Корчак М. Дослідження можливостей інноваційного обладнання AMS у ресторанних технологіях. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 2. С. 176–185.
8. Яка буває сіль. URL: https://charcoal-oven.biz/jaka_buvaje.html (дата звернення 25.07.2024).
9. Корінь любистку лікарського. URL: <https://bionorica.ua/zdorove/lekarstvennye-rasteniya/koren-ljubistka-lekarstvennogo> (дата звернення 31.07.2024).
10. Кропива дводомна: лікувальні властивості, опис. URL: <https://www.zborovik.com.ua/post/> (дата звернення 03.08.2024).
11. Кріп пахучий URL: <https://liktravy.ua/herbs/kropu-pahuchogo-plody> (дата звернення 25.07.2024).
12. Кульбаба лікарська. URL: <https://bionorica.ua/zdorove/lekarstvennye-rasteniya/oduvanchik-lekarstvennyj> (дата звернення 24.07.2024).



13. Амарант - корисні властивості, що можна приготувати. URL: <https://ecovill.com.ua/amarant-ce/> (дата звернення 01.08.2024).
14. Лобода. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/2104/loboda/> (дата звернення 23.07.2024).
15. Меліса: лікувальні властивості, опис. URL: <https://www.zborovik.com.ua/post/> (дата звернення 01.08.2024).
16. Salt and Sodium. URL: <https://nutritionsource.hsph.harvard.edu/salt-and-sodium/> (дата звернення 29.07.2024).
17. Amazing science: salt is necessary for life URL: <https://manoa.hawaii.edu/exploringourfluidearth/chemical/chemistry-and-seawater/salty-sea/weird-science-salt-essential-life> (дата звернення 01.08.2024).
18. Traditional and new approaches to reducing salt intake. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996921008334> (дата звернення 01.08.2024).
19. The Science Behind Salt. URL: <https://www.foodunfolded.com/article/the-science-behind-salt> (дата звернення 26.07.2024).
20. Inger-Lise Steffensen. Benefit and risk assessment of increasing potassium intake by replacement of sodium chloride with potassium chloride in industrial food products in Norway. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278691517307111> (дата звернення 01.08.2024).

Стаття надійшла до редакції 01.08.2024 р.

T. Semko, O. Ivanishcheva, O. Pahomska, A. Hasparian
Vinnytsia Institute of Trade and Economics

CREATION OF "VINNYTSKA" SALT BY ADDING WILD PLANT RAW MATERIAL USING INNOVATIVE EQUIPMENT

Summary

This article focuses on the development of "Vinnytsia" salt by incorporating flavors from wild plant raw materials using innovative AMC equipment. It summarizes the types and methods of salt production and examines the production of salt enriched with aromas and beneficial substances from wild raw materials of Vinnytsia.

The choice of wild-grown raw materials is justified by analyzing their properties. The article proposes a formulation for "Vinnytsia" salt based on Artemsil association salt and wild rose. It also highlights the use of advanced AMC and Thermomix equipment to optimize production processes and ensure a high-quality, competitive product.

The article analyzes trends in "smart" cuisine, "smart" food, and the intelligent use of local products. Modern studies suggest that wild mushrooms could become a unique Ukrainian specialty, indicating that new products should be created based on our local cuisine.



The article underscores the relevance of exploring an unconventional vision for Ukrainian cuisine-dishes based on raw materials provided by nature, the forest, and the field. For creating "Vinnytsia" salt, the proposed ingredients include sodium chloride (NaCl), commonly known as rock salt, and wild plants such as lovage (seeds), nettle, dandelion (roots), wild dill (wild fennel), amaranth, quinoa, and lemon balm.

The article also examines the benefits of AMC intelligent cookware and highlights the features of the innovative AMC Premium Cooking System. The research findings can benefit salt producers and food industry specialists interested in improving product quality and expanding product ranges.

The research was conducted using equipment from the educational laboratory of restaurant product technology at the Vinnytsia Trade and Economic Institute of DTEU. It demonstrated the effectiveness of AMC cookware in enhancing technological capabilities at optimal temperatures and in monitoring functions, which are important indicators of the HACCP system.

Key words: technology, salt, local products, wild plants, power, recipe, AMC, Thermomix.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-10

УДК 687.157:647.5

Т. В. Семко, к.т.н., доц.

ORCID 0000-0002-1951-5384

О. В. Пахомська, ст. викл.

ORCID: 0000-0002-0915-8811

Вінницький торговельно-економічний інститут ДТЕУ

e-mail: olana1980@ukr.net, тел.: +380987878853

КУХАРСЬКИЙ ОДЯГ: ВІД ІСТОРІЇ ДО СУЧАСНОСТІ

Анотація. Кухня закладу ресторанного господарства - це місце, де до санітарно-гігієнічних норм висуваються особливі вимоги. Чистота і порядок повинні бути на високому рівні, адже відбувається робота з продуктами харчування, які після приготування перетворюються в готові страви.

Кухар є працівником закладу ресторанного господарства, тому повинен не тільки добре готувати, але і мати бездоганний зовнішній вигляд. Для цього існує спеціальна форма, яка відрізняється зручністю і практичністю, а також здатна захистити використовувані при готуванні продукти від потрапляння забруднень.

Кухарський форма призначена для того, щоб робота біля плити була комфортною і безпечною для її власника. Тому правила її носіння вказані в санітарних правилах і нормах (СанПіН). Уніформа допомагає підтримувати чистоту і санітарні норми на робочому місці. З її допомогою виключається потрапляння в їжу всіляких забруднень, наприклад, волосся і поту. Носити її повинні не тільки кухарі, а й всі інші кухонні працівники.

Кухарський уніформа є невід'ємною складовою репутації закладу, так як впливає на здоров'я його відвідувачів і естетику, а також смак поданих страв.

Ключі слова: кухарський одяг, історія, ковпак, китель, санітарні вимоги, кухар.

Кулінарія – одне з найдавніших занять людини. Просто вгамувати голод стало недостатньо, адже цей процес приносить чимало задоволення, тому з часом стала з'являтися професія кухаря. Однак сучасна уніформа для них була розроблена порівняно недавно, якихось 200 років тому. Спробуємо простежити всю історію кухарський одягу для розуміння світу кулінарії більш поглиблено.

Аналіз останніх досліджень. Сучасними науковими дослідженнями про кухарський одяг для працівників закладів ресторанного господарств займалося дуже мало науковців. Наукові розробки зафіксовано лише у Домбровської О.М. та Мица В.В. Тому, дослідження історичного аспекту розвитку одягу для кухарів є досить актуальним.

Формування цілей статті (постановка завдання). Метою статті є дослідження історичних аспектів у створенні одягу для кухарів від

минулого до сучасного та дослідження основних вимог до одягу кухаря у сучасних закладах ресторанного господарства.

Основна частина. Починаючи з древнього Риму кухари стали все більше входити в свою особливу категорію [13]. Вони вже були привілейованими громадянами, які стали вносити свої зміни на кухнях. Почали з'являтися головні убори, зручне взуття, свій особливий костюм, хоч і сірого відтінку. Саме темні кольори прижилися в кухарському одязі до початку 19-го століття. Вони практичні, адже прати можна набагато рідше, ніж білу тканину.

Кухарський одяг минулих років представлено на рис. 1.

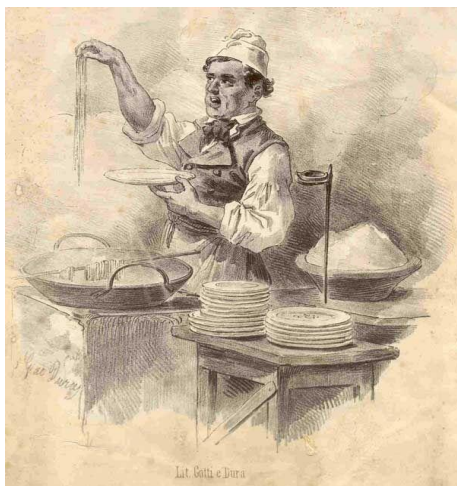


Рис. 1. Кухарський одяг минулих років

Варто зазначити, що до створення імперії Наполеона, як такого, одягу у кухарів не було. Він замінювався звичними штанами і сорочкою, які використовувалися в повсякденному житті. Для дівчат діяло подібне правило. Єдиним винятком ставав фартух для захисту від жиру і пара. Його використовували в усі часи.

Перші нариси прообразу уніформи шеф-кухаря були створені одним із перших найвідоміших шеф-кухарів високої кухні Марі-Антуаном Каремом, який мав прізвище "Король кухарів і кухар королів" у 1822 році. Крім того, він вирішив, що кухарські ковпаки повинні бути різного розміру, щоб можна було без проблем відрізнити шеф-кухарів від їхніх молодших колег [15]. Сам Карем носив ковпак 18 дюймів у висоту. Після його нововведення шеф-кухаря стали носити високі ковпаки, а молоді кухарі - короткі, що нагадують капелюх [6].

Виходячи на роботу, Карем одягав білий ковпак, щоб продемонструвати оточуючим чистоту на кухні, двобортний кітель і фартух, пов'язаний навколо талії.



Не можна сказати, що Марі-Антуану Карому вдалося створити ідеальний варіант кухарський форми, однак початок таким перетворенням було покладено. Надалі, подорожуючи по світу, йому постійно приходили геніальні ідеї, які черпалися з досвіду інших країн. Саме цьому кухарю вдалося підштовхнути своїх колег приступити до розробки уніформи, що відповідає всім вимогам безпеки і комфорту [14].

І лише 1878 року уніформа увійшла в моду. Компанія Angelica Uniform Group розпочала масове виробництво цього вбрання, зробивши його доступним для кухарів у всьому світі.

Один з останніх штрихів зробив інший геній французької кулінарії, Жорж Огюст Ескоф'є (1846-1935), великий шанувальник Карем і успішний продовжувач його справи. Саме він постановив, що одяг кухонного персоналу з гігієнічних міркувань повинен бути білим.

Огюст Ескоф'є, був першим, хто стандартизував форму в мережі лондонських ресторанів, що знаходилися під його керівництвом. Всі кухарі ресторанів, якими він керував, повинні були носити стандартну кухарську уніформу [1, 24].

У кожному разі, знайомий образ кухаря склався в Європі приблизно після Другої Світової Війни [7].

Сучасний кухарський одяг. Починаючи з середини минулого століття, кулінарія набула популярності порівнянну з іншими видами діяльності людини. Тепер кожен мріяв одягти кухарський одяг для отримання своєї порції компліментів. Уніформа повністю склалася в дійсно практичний костюм, але з цим і стала дуже привабливою для всіх, хто небайдужий до приготування їжі.

Кухарський одяг зазнав багато історичних змін:

- з'явився двобортний кітель - застібаючись на різні боки, стало можливим швидко приховати плями на одязі;
- ковпаки збільшувалися в залежності від посади, яку займає на кухні. Шеф-кухар носив самий громіздкий головний убір;
- рукава стали заходити і фіксуватися в зручному положенні;
- зав'язувалася навколо ший хустка для стирання поту;

допускалося тільки закрите взуття - воно захищало ноги від випадково пролитого окропу.

Уніформа кухаря еволюціонувала в основному з практичних міркувань. Наприклад, кухарський куртка стала двобортною. Це необхідно для того, щоб можна було легко застебнути її на іншу сторону в разі потрапляння на неї плям. Шиється кухарський одяг з подвійного шару бавовни, який покликаний захистити тіло від жару печі або випадкового попадання гарячої рідини. Навіть гудзики на

куртки обшиваються тканиною для того, щоб уникнути контакту гудзиків з каструлями, сковорідками і інший кухонним начинням [22].

На даний момент кухарський костюм складається з наступних елементів:

- двобортний кітель;
- ковпак;
- фартух;
- брюки або спідниця-олівець;
- закрите взуття з м'якою підошвою.

Сучасний кухарський одяг представлено на рис. 2.



Рис. 2. Сучасний кухарський одяг

Білий двобортний кітель. Причина білизни кухарської уніформи полягає в тому, що вона демонструє чистоту та охайність людини, яка готує їжу. І звичайно ж, людина, здатна підтримувати чистоту свого одягу в умовах кухні, демонструє цією чистотою свій професіоналізм і авторитет [21].

Ще одна функціональна роль білого – його здатність відбивати тепло та жар, що вкрай корисно на гарячій кухні. Традиційним вважається білий колір, однак, можна використовувати і тканини інших тонів. Іноді в одному комплекті комбінують контрастні кольори (білий ковпак і червоний фартух)[26].

Природно, це рішення не можна назвати практичним або функціональним, радше – декоративним. (Часто застосовується в ресторанах з «відкритою кухнею»).

Сам кітель – надзвичайно універсальний та практичний елемент кухарської уніформи. Щільний матеріал захищає кухаря від жару, пари та бризок гарячих рідин, яких буває чимало під час приготування

їжі. Традиційний кітель мав довгі рукави, які прикривали руки та дозволяли безпечніше працювати з духовкою та гарячими каструлями. Однак зараз більша частина уніформи виготовляється з короткими рукавами, щоб забезпечити легкість та зручність рухів.

До речі, кітель має одну важливу хитрість. Він допомагає швидко приховати будь-які плями. Двобортний піджак можна швидко застебнути на інший бік і так приховати раптово пляма, що не тимчасово з'явилася, якщо кухарові ніколи переодягатися [17].

Сучасні заклади ресторанного господарства для того щоб спецодяг став корпоративним костюмом, наносять на форму логотип закладу, фірмову символіку або назву підприємства. Таке брендування спецодягу не просто елемент прикрашення, це додаткова реклама закладу ресторанного господарства.

Брендування виконується кількома способами:

- шовкотрафаретний друк – на тканину наноситься малюнок фарбою через трафарет;
- машинна або ручна вишивка – відмінне рішення, що перетворює спецодяг в унікальну форму. Вишивка відмінно переносить прання і зберігає свій вигляд на весь період носіння одягу;
- термодрук – також дає стійке і якісне зображення. Одяг з виконаними малюнками в техніці термодрук можна прати і здавати в хімчистку[5].

Зразок сучасного брендування кухарського одягу зображено на рис. 3.



Рис. 3. Сучасне брендування кухарського одягу

Згідно з нормами, кухарові видається три комплекти одягу в рік. При необхідності норма видачі спецодягу може збільшуватися, що має бути закріплено в колективному договорі між роботодавцем і працівниками.



Білий кухарський ковпак. Найвідоміший елемент кухарського костюма – високий білий ковпак. Називається він – "токе бланш". Слово "toque" означає "капелюх", а "blanche" по-французьки означає "білий", що, як нескладно здогадатися, разом означає "білий капелюх".

Історія кухарського ковпака налічує кілька тисяч років. Ще до нашої ери у ассірійців придворний харчевник носив корону, щоб виділити свій статус. Правда виконана вона була з тканини, але все ж, помітно підвищувала його статус серед інших учасників роботи на кухні. Пояснюється таке високе становище дуже просто. Споконвіку правителі рідко йшли з життя природнім шляхом, найбільш зручним і поширеним способом усунути людину – вважалося отруєння. Для того щоб їжа завжди була під наглядом, і правитель міг бути впевненим в тому, що після трапези він не відправиться до праотців, головним кухарам виявлялися всілякі почесті.

Традиційний кухарський ковпак є найбільш характерною і впізнаваним елементом кухарської уніформи. Історія виникнення цього елемента спецодягу досить цікава. У 16-му столітті кухарів, як і представників інших ремесел, переслідували за вільнодумство. Їх часто садили в тюрми і страчували. Для того, щоб уникнути переслідування, кухари нерідко шукали притулок в православній церкві і ховалися серед ченців в монастирях. Там вони носили той самий одяг, що і священники, включаючи довгі мантиї і високі шапки. Єдиним винятком було те, що кухарський одяг був сірого кольору, а чернецький – чорного [4].

У французькій кухні висота ковпака символізувала досвід кухаря. Чим вище капелюх, тим більше досвіду. Роль ковпака в Іспанії виконували хустки, а в Шотландії – берети.

Кількість складок на капелюсі показувало, скільки кулінарних прийомів і навичок володіє кухар. Розповідають, що за часів Карем кухарський ковпак мав сто складочок, і це символізувало 100 можливих способів приготування яйця [16].

Але крім символічного значення, токе-бланш має й низку суто практичних призначень:

- Перше – не допускати попадання волосся кухаря в їжу.
- Друге – персонал може швидко визначити, де саме на великій кухні знаходиться шеф-кухар. Їм достатньо знайти високий білий капелюх [20].

В наші дні технології дозволяють виробляти головні убори самих різних фасонів і кольорів, здатні задовольнити навіть самий вимогливий смак будь-якого шефа. Невеликий і зручний головний убір завжди відповідає гігієнічним вимогам і підходить під будь-який фасон костюма. До речі, все частіше і частіше одягаючи свою



команду, шеф-кухаря вибирають одноразові пілотки, ковпаки, беретки і бандани. Це дуже зручно і практично, до того ж, одноразові головні убори недорогі.

За час свого існування головний убір кухаря став символом його професіоналізму й вдачі – з того, як шеф носить головний убір, часто можна було визначити наскільки він владний або легковажний. Завдяки тому, що це не просто аксесуар, а ще й предмет гігієни, будь-кухар сьогодні може самовиражатися за допомогою ковпака, при цьому задовольняючи всі контролюючі служби гігієни в ресторані.

У професійного кухаря повинні бути два ковпаки. В одному він готує на кухні, а в іншому - виходить в зал до гостей.

Сьогодні немає чітких рамок з приводу форми і кольору ковпака. Хоча частіше для виходу в зал кухар все ж надягають класичний білосніжний циліндр з високою тулією і безліччю складок.

Незамінний фартух. Фартух також є незамінним атрибутів кухарський уніформи, так як відмінно захищає одяг кухарів від харчових плям і жиру. Також кухарі надягають на талію фартух, щоб захистити ноги від розливої гарячої води (що цілком може статися, коли вони несуть тарілку або гарячу каструлю)[19].

Такі фартухи зазвичай закінчуються трохи нижче за коліно, тому кухар може швидко пересуватися по кухні, не заплутуючись у тканині. Зазвичай фартухи бувають білими, чорними або смугастими, щоб відповідати решті уніформи[18].

Штани. Зручні, легкі, не заважаючи рухатись штани дуже корисні для тих, хто багато і швидко переміщається великою кухнею. Уніформа шеф-кухаря зазвичай складається з чорних або білих штанів з візерунком “гусячі лапки” (цей візерунок також дуже добре приховує плями).

Кухарські штани зазвичай не стягуються на талії ремнем, щоб забезпечити комфорт протягом усього дня. Натомість використовується еластична гумка або шнурок. Самі штани виготовляються з легкого дихаючого матеріалу, що ідеально підходить для жарких кухонь. Великі бічні та задні кишені також забезпечують деяку практичність [25].

Що стосується хустки (краватки) на шиї у шеф-кухаря, то спочатку вона носила практичний характер. Така хустка служила для витирання поту, так як в кухні було дуже жарко. Сьогодні її традиційно носять в європейських і азіатських країнах. Це надає кухарю особливого місцевого колориту. Основна ж маса кухарів відмовилася від пов'язки на шию, яка більшою мірою заважає кулінарному процесу. Завдяки роботі кондиціонерів пін практично не з'являється під час готування. Тому хустка залишилася тільки як



елемент прикраси уніформи та носить більше з естетичних міркувань [2].

Особливе значення для кухаря має робоче взуття, воно мусить відрізнятися легкістю і зручністю. Найбільш поширеним взуттям на сьогоднішній день вважаються клогі і сабо, вони підходять як кухарям чоловічої, так і жіночої статі (унісекс).

Діяльність кухаря проходить в приміщенні з підвищеною температурою [9]. В таких умовах гігієнічні властивості одягу стають найважливішою умовою. Тканина, з якої шиється спецодяг для працівників кухні, повинна мати гарну теплопровідність, паропроникність, повітропроникність і гігроскопічність.

Форма кухаря виготовляється з декількох матеріалів:

- *бавовна* – є натуральним матеріалом з відмінними гігієнічними властивостями, який здатний забезпечити хорошу циркуляцію повітря і необхідний рівень теплообміну;

- *синтетика* – забезпечення міцності, високої гігієнічності та збереження форми одягу;

- *тканини з поєднанням бавовни і синтетики* – зазвичай складаються з третини бавовни і двох третин поліестеру. Вони мають позитивні властивості обох складових, зокрема захист від вогню, кислот, а також відштовхування олії і води [10, 23].

Спецодяг впритул прилягає до шкіри працівника, тому вона не повинна викликати роздратування і алергічних реакцій.

Крій кітеля або халата повинен бути продуманим і зручним. Головний критерій – комфорт і свобода руху. До довжини кітеля або робочої блузи пред'являються певні вимоги: вони повинні діставати приблизно до середини стегна. Довгі рукава застібаються клейкими стрічками або заклепками. Гудзики на кухарському спецодязі використовувати не рекомендується зовсім. Виріз на верхній частині одягу повинен мати закритий край. Не слід вибирати фасони одягу з непотрібними декоративними елементами. Для зручності роботи спецодяг повинен бути підібраний строго за розміром.

Спецодяг кухаря повинен бути практичним. Одяг під час роботи кухаря зазнає значних забруднень (бризки жиру, води, крові при обробленні риби і м'яса і інші види плям), тому костюм кухаря повинен бути виготовлений з тканини, що має водовідштовхувальні і жировідштовхувальні властивості. Тканина повинна мати просочення, яке забезпечує її термостійкість і не дає підтримувати активне горіння [12].

Ще одна важлива вимога до тканини, з якої виготовляється спецодяг для кухаря – вона повинна легко відпиратися, при цьому, не втрачаючи свого зовнішнього вигляду. Пам'ятайте, кухар працює не тільки на кухні, він може виходити в зал до клієнтів, виносити



основне блюдо, тому його одяг повинен бути бездоганим – він обличчя вашого закладу.

Хороша якість тканини, забезпечить зносостійкість форми, адже їй доведеться пережити часте прання.

Білосніжна форма для кухарів – традиційний варіант, з яким складно конкурувати. Білий колір символізує чистоту, охайність. Такий одяг покликана вселяти впевненість у бездоганності виконання санітарних норм. Крім того, будь-яскравий акцент або емблема будуть відмінно виділятися на білому тлі, підкреслюючи фірмовий статус закладу.

Ніжні пастельні тони можуть стати непоганою альтернативою для традиційного білого кольору, вони можуть гармоніювати із загальним колірним рішенням закладу, залучати незвичністю фасону, оригінальністю колірного рішення.

Популярним є поєднання білого і бордового кольорів. Білосніжний комплект з темно-бордовим фартухом, білі штани і ковпак з бордовим кітелем, білосніжним рушником на темному рукаві. Такі комплекти виглядають стильно, виграючи за рахунок гри контрастів, роблять фігуру кухаря значною.

Щоб убезпечити кухаря під час роботи, крім одягу його слід забезпечити і спеціальним взуттям. Неслизька подошва і закрита п'ята не дадуть працівнику посковзнутися і впасти, твердий носок прикриє ногу від падіння гострих або важких предметів, можливість помити забезпечить гігієнічність[8].

Термін експлуатації форми для кухаря значно залежить від правильного догляду та забезпеченні відповідних умов зберігання. Відповідальна особа повинна прати, чистити і ремонтувати взуття та одяг, яка в брудному вигляді може бути негативним фактором для здоров'я кулінара і відвідувачів.

Оптимальні умови для приміщень, де зберігається кухарський одяг:

- температура повітря від 15 до 25 градусів за Цельсієм;
- відносна вологість: 40% -75%;
- періодичне провітрювання;
- опалення взимку;
- одяг лежить в спеціальній тарі [11].

Висновки. Носити форму шеф-кухаря - це честь і привілей, який заробляють наполегливою працею та навчанням. Учні отримують свій перший комплект спецодягу в школі кулінарного мистецтва і носять його з честю як символ своєї професії.

Йдуть роки, збільшується кількість складок на *toque blanche*. Чоловік у білому двобортному кітелі командує своєю кухнею, як капітан кораблем у бурхливому морі. Можливо, цей символізм теж



колись закладався Марі-Антуаном Каремом у його перші ескізи. У будь-якому випадку, кухарська уніформа вийшла настільки самобутньою і вражаючою, що сплутати її з якоюсь іншою просто неможливо!

Перспективним напрямком подальших досліджень є дослідження історичних аспектів розвитку закладів ресторанного господарства в Україні.

Список використаних джерел

1. Коротка історія уніформи шеф-кухаря. URL: https://ria-m.tv/ua/news/343770/korotka_istoriya_uniformi_shef_kuharya.html (дата звернення 22.07.2024).
2. Спеціальний одяг для кухаря або навіть хустка? URL: <https://ark.ua/blog/specalniy-odyag-dlya-kuharya-abo-navscho-hustka.html> (дата звернення 22.07.2024).
3. Кухарський ковпак. URL: <https://yak.bono.odessa.ua/articles/kuharskij-kovpak.php> (дата звернення 19.07.2024).
4. Історія ковпака кухаря. URL: <https://likar.uz.ua/istoriya-kovpaka-kuharya/> (дата звернення 20.07.2024).
5. Як вибрати спецодяг для кухаря? URL: <https://ark.ua/blog/yak-vibrati-specodyag-dlya-kuharya.html> (дата звернення 18.07.2024).
6. Вимоги до одягу для кухарів, критерії правильного вибору URL: <https://kirpi4ik.com.ua/vimogi-do-odyagu-dlya-kuchariv-kriteri%D1%97-pravilnogo-viboru> (дата звернення 24.07.2024).
7. Кухарський ковпак. URL: <https://10000menu.ru/kulinarna-istorija/1994-kuharskij-kovpak.html> (дата звернення 23.07.2024).
8. Домбровська О. М., Мица В. В. Передпроектні дослідження форменого одягу кухарів для закладів ресторанного господарства. *Вісник Хмельницького національного університету*. Хмельницький, 2019. № 5. С.77–80.
9. Вимоги санітарного законодавства для закладів громадського харчування. URL: <https://www.victorija.ua/njvina/vymohy-sanitarnoho-zakonodavstva-dlya-zakladivhromadskoho-harchuvannya.html> (дата звернення 24.07.2024).
10. Какая должна быть поварская форма? URL: <https://3c-market.ub.ua/ru/analitic/26418-yakoyu-povinna-buti-kuharska-forma.html> (дата звернення 25.07.2024).
11. Особливості при виборі форми для кухаря URL: <https://lux-form.com.ua/ua/a304228-osobennosti-pri-vybore.html> (дата звернення 20.07.2024).
12. Уніформа для персоналу ресторану або кафе URL: <https://joinposter.com/ua/post/uniforma-dlya-personalu-kafe> (дата звернення 19.07.2024).



13. Evolution of the Chef as a Profession URL: <https://www.linkedin.com/pulse/evolution-chef-profession-book-my-chef> (дата звернення 20.07.2024).
14. Chef's uniform. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Chef%27s_uniform (дата звернення 20.07.2024).
15. Who Made That Chef's Toque? URL: <https://www.nytimes.com/2014/03/30/magazine/who-made-that-chefs-toque.html> (дата звернення 21.07.2024).
16. Chef Hat - What Is Its History URL: <https://www.reluctantgourmet.com/chef-hat-history/> (дата звернення 20.07.2024).
17. Kitchen uniforms: Why do chefs wear white? URL: <https://web.archive.org/web/20140610052337/http://www.highbeam.com/doc/1P3-1599485431.html> (дата звернення 22.07.2024).
18. Cooking Aprons: An Overview. URL: <https://web.archive.org/web/20140202102058/http://www.bestbuyuniforms.com/en/content/34-cooking-aprons-an-overview> (дата звернення 21.07.2024).
19. Chef Aprons URL: <https://www.apronwarehouse.com/collections/chef-aprons> (дата звернення 20.07.2024).
20. Traditional chef's hat stirs kitchen debate URL: <https://web.archive.org/web/20140610052335/http://www.highbeam.com/doc/1P2-4047814.html> (дата звернення 22.07.2024).
21. Chef Uniform Colours: Understanding Uniform Colour and Kitchen Rank. URL: https://medium.com/@smart_hospitality_supplies/chef-uniform-colours-understanding-uniform-colour-and-kitchen-rank-6be2f6686c80 (дата звернення 22.07.2024).
22. Mastering the Chef's Coat: How to Properly Wear It URL: https://medium.com/@smart_hospitality_supplies/mastering-the-chefs-coat-how-to-properly-wear-it-21bd3ae43218 (дата звернення 26.07.2024).
23. Choosing the Right Material: What is the best material for a Chef's Coat? URL: https://medium.com/@smart_hospitality_supplies/choosing-the-right-material-what-is-the-best-material-for-a-chefs-coat-1fb234adf407 (дата звернення 25.07.2024).
24. A Brief History Of The Chef's Uniform URL: <https://www.escoffier.edu/blog/culinary-arts/a-brief-history-of-the-chefs-uniform/> (дата звернення 22.07.2024).
25. What's the Importance of a Chef Uniform in Hospitality? URL: <https://www.highspeedtraining.co.uk/hub/importance-of-chef-uniform/> (дата звернення 25.07.2024).
26. Why is a Chef Uniform Important? URL: <https://www.highspeedtraining.co.uk/hub/importance-of-chef-uniform/> (дата звернення 25.07.2024).



Стаття надійшла до редакції 02.08.2024 р.

T. Semko, O. Pahomska
Vinnitsia Institute of Trade and Economics

COOK CLOTHING: FROM HISTORY TO MODERN TIMES

Summary

Cooking is one of the oldest occupations of man. It was not enough to simply satisfy hunger, because this process brings a lot of pleasure, so over time the profession of a cook began to appear. However, the modern uniform for them was developed relatively recently, some 200 years ago. Let's try to trace the entire history of chef's clothes to understand the world of cooking in more depth.

A kitchen of establishment of restaurant economy is a place, where to the sanitary-hygenic norms the special requirements are pulled out. A cleanness and order must be at high level, in fact there is work with foodstuffs that after preparation grow into the prepared foods.

A cook is the worker of establishment of restaurant economy, that is why must not only it is good to prepare but also to have irreproachable original appearance. For this purpose there is special уніформа that differs in a comfort and practicality, and also able to protect the foods used for preparation from the hit of contaminations.

Cook a form is appointed in order that work near a flag was a comfort and safe for her proprietor. Therefore, the rules for wearing it are specified in the sanitary rules and regulations (SanPiN). The uniform helps to maintain cleanliness and sanitary standards in the workplace. With her help a hit is eliminated in the meal of various contaminations, for example, of hair and sweat. Not only cooks must carry her but also all other kitchen workers.

Cook a form is the inalienable constituent of reputation of establishment, so as influences on a health his visitors and aesthetics, and also taste of the given foods.

Wearing a chef's uniform is an honor and a privilege earned through hard work and training. Students receive their first set of overalls at the Culinary Arts School and wear them with honor as a symbol of their profession.

As the years go by, the number of folds on the toque blanche increases. A man in a white double-breasted coat commands his kitchen like the captain of a ship in a stormy sea. Perhaps this symbolism was once laid by Marie-Antoine Carem in his first sketches. In any case, the chef's uniform turned out to be so original and impressive that it is simply impossible to confuse it with any other!

Key words: cook clothing, history, hubcap, tunic, sanitary requirements, cook.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-11

УДК 664.8.039.6

М. Ю. Савченко, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-8498-3272

О. В. Радчук, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-8228-2499

Сумський національний аграрний університет

e-mail: marina.saw4encko2011@gmail.com, тел.: +380993834398

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СТЕРИЛІЗАЦІЇ КОНСЕРВІВ

Анотація. Метою статті є створення стенду для автоматизації електричного автоклаву малої потужності, який дозволяє проводити дослідження процесу стерилізації консервів з м'ясною, рослинною та м'ясо-рослинною сировиною, та багаторазового повторення експерименту для заданих технологічних параметрів з фіксацією їх для наступної обробки на персональному комп'ютері. Для досягнення поставленої мети було підібрано обладнання для автоматизації електричного автоклаву. Досліджено процес нагріву автоклаву та витримки параметрів технологічного процесу стерилізації консервів. Описано схему автоматизації електричного автоклаву малої потужності. Зроблено аналіз конструкції електричного автоклаву з деталізацією основних частин. Проведені дослідження процесу нагріву автоклаву та витримки параметрів технологічного процесу стерилізації консервів. Дані перебігу параметрів представлено на графіках. Зроблено висновки і рекомендації щодо наукового і практичного використання запропонованих рішень.

Ключові слова: електричне устаткування, м'ясо, м'ясо-рослинна сировина, автоматизований стенд, технологічні параметри, процес, харчова промисловість, лабораторне обладнання, продукти харчування.

Постановка проблеми. Харчова промисловість відіграє важливу роль у задоволенні потреб споживачів, постачаючи сировину та перероблені продукти харчування. Зараз харчова промисловість використовує економічно ефективні та вигідні рішення автоматизації для досягнення більш високих обсягів виробництва в порівнянні з харчовою промисловістю, що використовує ручні системи управління технологічними процесами. Харчова промисловість адаптувалася до систем автоматизації більше, ніж будь-яка інша промислова галузь [1]. {Автоматизація - це технологія, пов'язана з використанням механічних, електронних і комп'ютерних систем для контролю і моніторингу виробництва. Автоматизація систем управління зробила революцію в харчовій промисловості, зробивши виробничі процеси швидшими та ефективнішими [2]. Оскільки попит на продукти харчування зростає, виробники все частіше звертаються до автоматизованого управління технологічними процесами, щоб



підвищити продуктивність, знизити виробничі витрати і підвищити стандарти безпеки та якості. Використання автоматизації у виробництві харчових продуктів має ряд переваг [3, 4]. Автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП) знижують ризик людських помилок, зменшують забруднення процесу і забезпечують дотримання стандартів безпеки харчових продуктів. Автоматизовані системи управління технологічними процесами дозволяють виробникам підтримувати стабільну якість продукції, мінімізувати відходи виробництва та підвищити ефективність [5].

Сьогодні прогрес у технологіях автоматизації призвів до розробки конкурентоспроможних інтелектуальних систем, які здатні навчатися та адаптуватися до різних ситуацій, підвищуючи ефективність та результативність виробничих процесів [6].

Сьогодні роботи та автоматизовані процеси визнані невід'ємною частиною промисловості. Автоматизовані системи в першу чергу визначають конкурентний успіх і безпеку харчової промисловості та виробничих потужностей. Найціннішими перевагами автоматизованих систем є підвищення продуктивності, якості продукції та прибутковості [7].

У цій роботі розглянуто автоматизований випробувальний стенд, що складається з електричного автоклава, електричних датчиків та керованого програмованого логічного контролера (ПЛК).

Автоклави зазвичай використовуються в консервній промисловості для стерилізації закритих харчових банок. Автоклави ефективно знищують бактерії, плісняву, дріжджі та інші мікроорганізми, запобігаючи псуванню і забезпечуючи тривале збереження продуктів харчування. Автоклави, що використовують пару високого тиску, широко застосовуються на великих і середніх переробних підприємствах. Малі та середні підприємства використовують автоклави з електричним підігрівом, оскільки використання пари є економічно не вигідним. Такі автоклави можуть бути автоматизовані, що суттєво впливає на якість готової продукції та дозволяє уникнути негативного впливу людського фактору в технічному процесі [8].

Аналіз останніх досліджень. Існує багато досліджень щодо впровадження ПЛК у виробничі процеси в різних галузях промисловості. Наприклад, Susan Featherstone у своєму посібнику представила розрахунок параметрів нагрівання для процесу пастеризації [9]. Автори Malaka, Maruddin та Triana стерилізували молоко з додаванням екстракту в електричному автоклаві, що працює на такому ж обладнанні, як і в нашій роботі, тобто за тим же принципом [10, 11]. Saravacos G. та Kostaropoulos A. запропонували

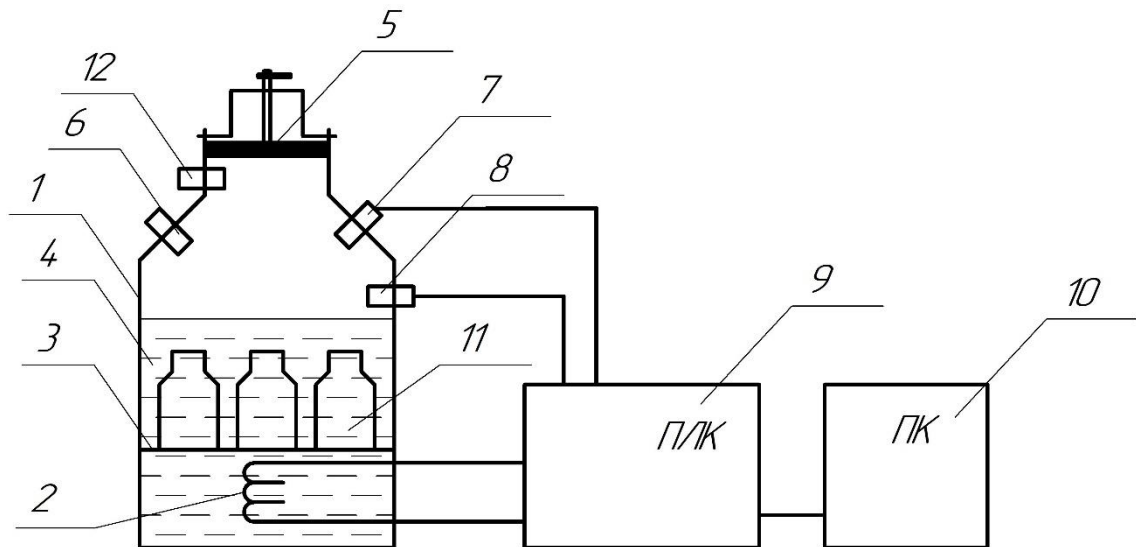


сучасний метод використання електричного автоклаву для консервування харчових продуктів [12]. Jijo K., Sandey K. та інші у своєму дослідженні продемонстрували доцільність використання електричних автоклавів для консервування харчових продуктів [13]. Вони досліджували залежність температурного впливу на стан консервованих продуктів, стерилізованих під високим тиском в автоклаві. Їх висновки збігаються з нашими: при консервуванні м'яса птиці в електричному автоклаві тиск на виході не перевищував нормативного значення при досягненні необхідної температури, але збільшувався пропорційно температурі. У своїй публікації Mokrushin S. підкреслює необхідність і простоту використання роботизованих систем у світі на прикладі стерилізації консервних банок у промисловому автоклаві [14]. Вчені Hartulistiwa E. та Akmal M. працювали над консервуванням крабового м'яса в контейнерах об'ємом 0,35 літра - стандартному об'ємі банок, що використовується в харчовій промисловості [15]. Ще велика низка вчених, які використовувала електричний автоклав з використанням ПЛК при теплових процесах при переробці молочних продуктів, рослинної сировини, результати досліджень яких було висвітлено в їхніх працях [16, 17].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є створення стенду для автоматизації електричного автоклаву малої потужності, який дозволяє проводити дослідження процесу стерилізації консервів з м'ясною, рослинною та м'ясо-рослинною сировиною, та багаторазового повторення експерименту для заданих технологічних параметрів з фіксацією їх для наступної обробки на персональному комп'ютері. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Підібрати обладнання для автоматизації електричного автоклава;
2. Дослідити процес нагріву автоклава та витримки параметрів технологічного процесу стерилізації консервів;
3. Зробити висновки і рекомендації щодо наукового і практичного використання запропонованих рішень.

Основна частина. Для автоматизації електричного автоклава проведено підбір обладнання. Обладнання встановлюється безпосередньо на автоклав і на стенд, який буде використовуватися для керування технологічним процесом, який відбувається в автоклаві. Схема автоматизації електричного автоклава малої потужності наведена на рисунку 1.



1. Автоклав; 2. Електричний нагрівальний тен; 3. Підставка під консерви; 4. Вода; 5. Кришка автоклава з герметичним запором; 6. Запобіжний клапан; 7. Датчик температури; 8. Датчик надлишкового тиску; 9. Програмований логічний контролер; 10. Персональний комп'ютер; 11. Консерви; 12. Ніпель для створення попереднього надлишкового тиску.

Рис. 1. Схема автоматизації електричного автоклава

Автоклав 1 має нагрівальний електричний тен 2 потужністю 2кВт, який працює від мережі 220В частотою 50Гц. Електричний тен розташований у нижній частині корпусу автоклава і відділяється від основної частини підставкою під консерви 3. В середину автоклава встановлюють закупорені банки 11 з сировиною для теплової обробки, ємністю до 1 літра кожна. Загальний об'єм консервів, який можна завантажити в автоклав складає 5 літрів. Банки в автоклаві заливають водою 4 на рівень 3-4 сантиметри вище кришки. Після заливки води, автоклав герметично закривають за допомогою кришки 5 з герметичним гвинтовим запором. В корпус автоклава герметично вбудовані: запобіжний клапан 6; датчик температури 7; датчик надлишкового тиску 8 і ніпель для створення попереднього надлишкового тиску 12. Через ніпель в середині автоклава створюють попередній надлишковий тиск 50-100кПа. Цей тиск необхідний для того, щоб при нагріванні закупорених банок тиск із зовні банки був більший, чим тиск, який виникне із середини банки. Це дозволяє в процесі стерилізації консервів уникнути розгерметизації банок. В конструкції автоклава використано запобіжний клапан, який розрахований на максимальний тиск 600 кПа. Цей клапан запобігає створенню в середині автоклава тиску, який може призвести до його руйнування. Датчик температури це термометр опору ДТС 0,1 5-50 М.В.2.80. Він дозволяє вимірювати фактичну температуру, яка

створилося всередині автоклаву. Цей датчик через дроти передає інформацію на контролер. Діапазон вимірювання: $-50...=180\text{ }^{\circ}\text{C}$. В конструкції використано датчик тиску ПД 100-ДИ 0,25-171, який має максимальну межу вимірювання надлишкового тиску в 250 кПа (короткотерміновою до 400кПа). Такий датчик перетворює енергію надлишкового тиску в сигнал постійного струму 4...20 мА. В якості блока керування технологічним процесом стерилізації консервів в електричному автоклаві використано програмований логічний контролер (ПЛК) ОВЕН ПР200, який представлено на рисунку 2.



Рис. 2. Загальний вид програмованого логічного контролера ОВЕН ПР200, який використано для автоматизації електричного автоклава малої потужності.

Даний ПЛК має можливість з'єднуватися з персональним комп'ютером через інтерфейс USB 2.0. Загальний вид стенда автоматизації електричного автоклава наведено на рисунку 3.



Рис. 3. Загальний вид стенда автоматизації електричного автоклава

На персональному комп'ютері із операційною системою Windows 10 встановлено спеціальне програмне забезпечення SIMP Light ENT, яке дозволяє фіксувати поточні показники температури і тиску, та в подальшому експортувати для обробки в MS Excel. Також даний

програмний продукт можна налаштувати для візуалізації технологічного процесу, коли на екрані персонального комп'ютера в режимі реального часу відтворюються графіки зміни тиску і температури.

Проведені дослідження процесу нагріву автоклава та витримки параметрів технологічного процесу стерилізації консервів показують, що є деякі відмінності від теорії ходу проведення процесу і фактичного його перебігу. Теоретично процес стерилізації консервів в автоклаві можна представити у вигляді графіка (рис 4).

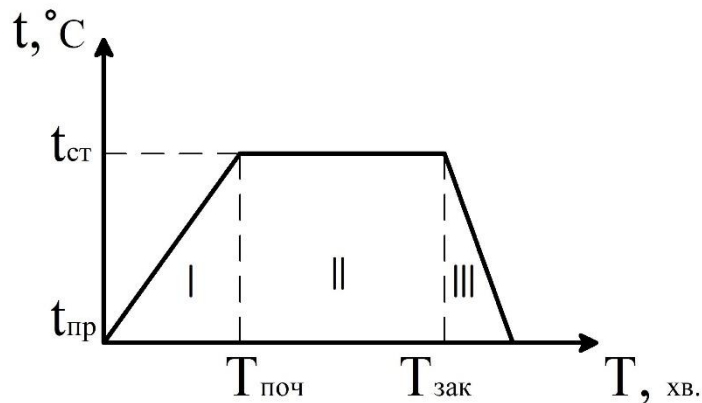


Рис. 4. Графік зміни температури в автоклаві (теоретичний)

Згідно цього графіку, електричний автоклав нагрівається від температури, яка є в приміщенні $t_{\text{пр}}$ до температури, яка необхідна для стерилізації відповідної консерви $t_{\text{ст}}$ за час від нуля до часу початку витримки температури $T_{\text{поч}}$. Ця зона на графіку позначена «I». Далі відбувається витримка в часі, при постійній температурі стерилізації, до часу закінчення стерилізації $T_{\text{зак}}$. Ця зона на графіку позначена «II». Після цього електричний автоклав відключають від електричної мережі і дають остигнути. Ця зона на графіку позначена «III».

Графік залежності температури нагріву електричного автоклава фактичний, який отриманий безпосередньо при проведенні експерименту, представлено на рисунку 5. В даному випадку проводився експеримент по стерилізації м'ясних консервів. Температура стерилізації $t_{\text{ст}}$ дорівнювала 120°C , витримка температури стерилізації дорівнювала 20 хвилинам. Експеримент проводився в приміщенні з температурою 25°C . Автоклав, в який завантажили м'ясні консерви, залили необхідною кількістю води, закачали через ніпель повітря, для забезпечення попереднього надлишкового тиску, через ПЛК був підключений до мережі для нагрівання. Час нагріву до температури стерилізації склав 72 хвилини. Графік залежності температури від часу реєструвався автоматично на персональний комп'ютер, який під'єднаний до ПЛК. При досягненні

температури стерилізації 120°C , ПЛК вимкнув живлення нагрівального елемента електричного автоклава. Але температура автоклава продовжувала збільшуватися до 125°C . Потім зростання температури припинилося, вона почала знижуватися до 119°C . ПЛК знов включив живлення нагрівального елемента і температура знов почала збільшуватися. При 120°C ПЛК виключив живлення, але температура продовжувала збільшуватися. Так процес повторювався декілька разів. Форма графіку, яку зареєстрував персональний комп'ютер – хвиляста лінія на проміжку часу від 72 хвилин до 92 хвилин. При досягненні кінця часу витримки ПЛК відключив електричний автоклав від мережі і він почав охолоджуватися до температури повітря в приміщенні.

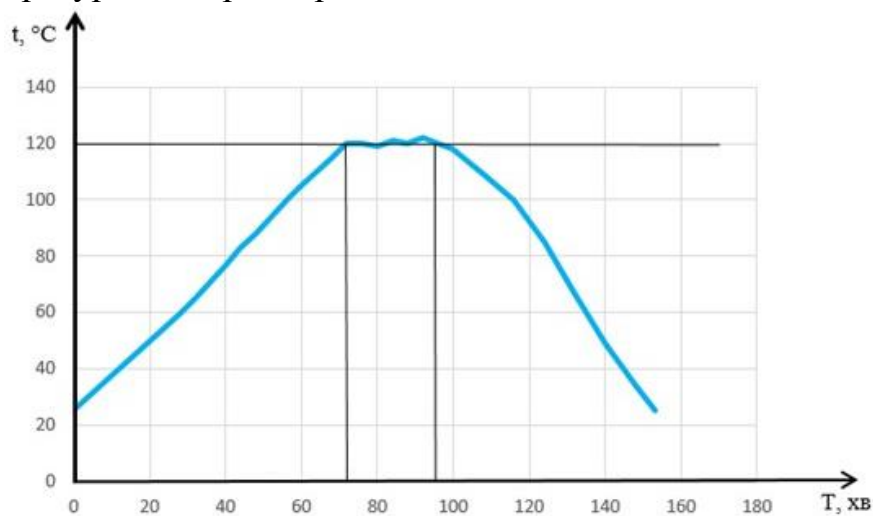


Рис. 5. Графік зміни температури в автоклаві (під час проведення експерименту)

Аналізуючи відмінності теоретичного графіка і того, який отриманий під час проведення експерименту, приходимо до висновку, що під час витримки температури стерилізації відбуваються певні теплові процеси. При вимиканні живлення нагрівального елемента електричного автоклава, температура продовжує зростати по причині того, що нагрівальний елемент при проходженні через нього електричного струму, нагрівається значно більше чим температура навколишньої води. І при вимиканні електричного струму, теплота, яка є в самому нагрівальному елементі, продовжує нагрівати воду до тих пір поки температура води і нагрівального елемента не стане однаковою. Певне перебільшення температури стерилізації не впливає на якість отриманих консервів. Є певна перевитрата енергетичних ресурсів. Для зниження цієї перевитрати необхідно проводити додаткові дослідження.

ПЛК, який використано для автоматизації електричного автоклава має можливість програмування на певну кількість програм,



які відрізняються температурою стерилізації і часом витримки. Тому для проведення теплової обробки консервів вибирають програму, яка відповідає параметрам технологічного процесу стерилізації м'ясних, рослинних або м'ясо-рослинних консервів. Температура стерилізації може бути 100, 110 або 120 °С, час витримки 10, 15, 20, 25, 30, 60 хвилин, або задаватися вручну оператором.

Практичне застосування отриманих результатів полягає в повній автоматизації технологічного процесу стерилізації консервів в електричному автоклаві, що дозволяє відтворення процесу будь-яку кількість разів із збереженням технологічних параметрів проведення процесу. А також є можливість проводити нові наукові дослідження по оптимізації параметрів технологічного процесу стерилізації і приготування нових видів консервів із контрольованими параметрами.

Висновки. В статті запропонований комплекс технічних засобів, які дозволяють провести автоматизацію електричного автоклава. Такий комплекс обладнання, який включає електричний автоклав із датчиками тиску і температури, програмований логічний контролер ОВЕН ПР200, який можна запрограмувати на певну кількість програм для реалізації технологічного процесу стерилізації м'ясних, рослинних або м'ясо-рослинних консервів. Температура стерилізації може бути 100, 110 або 120 °С, час витримки 10, 15, 20, 25, 30, 60 хвилин, або задаватися вручну оператором. До ПЛК підключається персональний комп'ютер, який за допомогою програмного забезпечення SIMP Light ENT фіксує поточні показники температури і тиску, а також дозволяє ці данні експортувати в MS Excel для подальшої обробки. Наукова новизна отриманих результатів полягає в отриманні цілісного комплексу автоматизації електричного автоклава малої потужності з можливістю керування процесом нагріву. Практичне використання полягає в можливості проводити експерименти по тепловій обробці консервів в електричному автоклаві із багаторазовим повторенням для заданих параметрів технологічного процесу із фіксацією температури і тиску під час проведення експериментів.

Список використаних джерел

1. Fauziah R., Malaka R., Yuliati F. Titratable acidity and pH changes of pasteurized milk by addition of Roselle flower extract in the refrigerator storage. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 492, No 1. P.012057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/492/1/012057>.
2. Chandrasiri G., Achintha Wijenayake K., Udara S. Development of automated systems for the implementation of food processing. *J. Res. Technol. Eng.* 2022. Vol. 3, No 1. P. 8–18.



3. Radchuk O., Savchenko-Pererva M. Automated control system of devices for extraction of vegetable raw materials with subcritical liquid. *TDATU: Scientific bulletin of Tavriyya State Agro-Technological University*. 2023. Vol. 2, No 13. P. 34–43. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-2-34>.
4. Ghoshal G. Emerging Food Processing Technologies. *Food Processing for Increased Quality and Consumption*. 2018. Vol. 18. P. 29-65. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811447-6.00002-3>.
5. Iqbal J., Khan Z., Khalid A. Prospects of robotics in food industry, *Food Sci. Technol (Campinas)*. 2017. Vol. 37, No 2. P. 159–165. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.14616>.
6. Mishachev N., Shmyrin A., Suprunov I. Simulation of sequential processing of a moving extended object. *International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies*. 2020. Vol. 11, No 7. P. 11A07T. <https://doi.org/10.14456/ITJEMAST.2020.140>.
7. Savchenko-Pererva M. Innovative engineering solution in hotel and restaurant industry. *Modern engineering and innovative technologies*. 2022. Vol. 20, No 1. P. 3–7. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2022-20-01-010>.
8. Savchenko M., Radchuk O. Automation of electric autoclave control. *Mechanization and automation of production processes*. Sumy, 2024. Vol. 1, No 55. P. 19–26.
9. Featherstone S. Spoilage of canned foods. *A Complete Course in Canning and Related Processes (Fourteenth Edition)*. 2015. Vol. 2. P. 27–42. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-678-4.00002-6>.
10. Malaka R., Maruddin F. Antioxidant activity of milk pasteurization by addition of Matoa leaf extract (*Pometia pinnata*). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 492, No1. P. 012046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/492/1/012046>.
11. Triana A., Maruddin F., Malaka, R. Supplementation of matoa (*Pometia pinnata*) leaf extract and alginate suppressed the growth of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* in pasteurized milk. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 492, No1. P. 012044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/492/1/012044>.
12. Saravacos G., Kostaropoulos A. Equipment for novel food processes. *Handbook of food processing equipment*. 2016. P. 605–643.
13. Jijo K., Ramesh K. Process automation for a food processing plant, *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*. 2014. Vol. 3, No 6. P. 1744–1750.
14. Mokrushin S. Selection of a system for automatic control of the sterilization process of canned food in an industrial autoclave. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2022. Vol. 1052, No 1. P. 012136. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1052/1/012136>.



15. Hartulistiyo E., Akmal M. Energy Usage Analysis on The Production Process of Canned Crab Meat (*Portunus pelagicus*). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020. Vol. 542. P. 012048. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/542/1/012048>.

16. Triana A., Maruddin F., Malaka R., Taufik M. Matoes pasteurized milk quality subjected to the different levels of alginate. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 575, No 1. P. 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/575/1/012029>.

17. Munirah M., Malaka R., Maruddin F. Organoleptic quality of pasteurization milk by matoes (*Pometia pinnata*) leaf extract supplementation. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021. Vol. 788. P. 012098. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/788/1/012098>.

Стаття надійшла до редакції 21.08.2024 р.

M. Savchenko, O. Radchuk
Sumy National Agrarian University

AUTOMATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF STERILIZATION OF CANS

Summary

The purpose of the article is to create a stand for the automation of a low-power electric autoclave, which allows you to conduct research on the process of sterilization of canned food with meat, vegetable and meat-vegetable raw materials, and to repeat the experiment multiple times for the given technological parameters with their fixation for further processing on a personal computer. To achieve the goal, the equipment for automating the electric autoclave was selected. The process of heating the autoclave and holding the parameters of the technological process of sterilization of canned food were studied. The automation scheme of a low-power electric autoclave is described. An analysis of the design of the electric autoclave was made, detailing the main parts. Studies of the process of heating the autoclave and holding the parameters of the technological process of sterilization of canned food have been carried out. The data of the course of the parameters are presented in the graphs. Conclusions and recommendations have been made regarding the scientific and practical use of the proposed solutions. The article offers a set of technical tools that allow automation of an electric autoclave. Such a complex of equipment, which includes an electric autoclave with pressure and temperature sensors, a programmable logic controller OWEN PR200, which can be programmed for a certain number of programs to implement the technological process of sterilization of meat, vegetable or meat-vegetable preserves. The sterilization temperature can be 100, 110 or 120 °C, the exposure time can be 10, 15, 20, 25, 30, 60 minutes, or it can be set manually by the operator. A personal computer is connected to the PLC, which, with the help of the SIMP Light ENT software, captures the current temperature and pressure indicators, and also allows these data to be exported to MS Excel for further processing. The scientific novelty of the obtained results consists in obtaining a complete automation complex of a low-power electric autoclave with the possibility of controlling the heating process. Practical use consists in the possibility of conducting experiments on the heat treatment of canned



goods in an electric autoclave with multiple repetitions for the given parameters of the technological process with the fixation of temperature and pressure during the experiments.

Key words: electrical equipment, meat, meat and vegetable raw materials, automated stand, technological parameters, process, food industry, laboratory equipment, food products.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-12

УДК 637.54:633.367

М. Ю. Савченко, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-8498-3272

Сумський національний аграрний університет

e-mail: marina.saw4encko2011@gmail.com, тел.: +380993834398

ВИКОРИСТАННЯ ПОРОШКУ РОСЛИННОГО В НАПІВФАБРИКАТАХ СІЧЕНИХ

Анотація. Метою роботи є удосконалення технології напівфабрикатів січених із додаванням порошкоподібного люпину білого.

В роботі проведено огляд літератури з сучасної технології та асортименту напівфабрикатів січених, визначено перспективи внесення порошкоподібного люпину білого. Розглянуто особливості виробництва порошку оболонки люпину білого, властивості, харчова цінність. Розроблено рецептурний склад отримання напівфабрикатів січених із внесенням порошкоподібного люпину білого. Було досліджено якісний аналіз показників органолептики напівфабрикатів січених із внесенням порошкоподібного люпину білого. Встановлено показники якості напівфабрикатів січених та зміну їх властивостей під час зберігання.

Ключові слова: м'ясо, м'ясна та рослинна сировина, процес, харчова промисловість, продукти харчування, рецептурний склад, виробництво, харчова цінність, показники якості.

Постановка проблеми. Постійне споживання необхідних мікроелементів (вітамінів, мінералів і мікроелементів), що належать до речовин поживних, відіграють важливу роль у підтримці здоров'я, працездатності та довголіття людини. Про правильне харчування та ризики, спричинені неправильним або незбалансованим споживанням продуктів, написано низку наукових статей [1, 2].

Січені готові страви отримують з м'ясного фаршу. Крім м'яса, вносять меланж, яєчне борошно, хліб, соєві та/або молочні білки, плазму, ріпчасту або/та сушену цибулю, сировину з овочів, сухарі для панірування та солодкі спеції [3, 4].

Натуральні м'ясні фаршеві напівфабрикати нечасто виготовляються з техніко-економічних причин, таких як відсутність організації виробництва фаршевих систем. Інша сировина, яка використовується у виробництві м'ясних напівфабрикатів, як правило нижча за вартістю за м'ясо і, таким чином, допомагає знизити собівартість продукту, що отримується. Додатки, такі як пшеничний хліб, бульба, білкові продукти, стабілізують структуру фаршу і підвищують його консистенцію. Котлети, біфштекси, шніцелі та фрикадельки виготовляються як в охолодженому, так і в замерзлому



вигляді. Фаршеві напівфабрикати виробляються в замороженому стані і містять в собі різновиди фрикадельок, тефтелей, котлет, равіолей та із різними начинками вареників.

Різновиди вареників, пельменів і равіолей – вироби у замороженому стані з тіста, замішаного на м'ясному свіжому фарші, солі та спеціях. Різновиди пельменів варіюються від форми та розмірів. У приведених вище продуктах різниться склад тіста, так як до пельменів відносяться напівфабрикати, що зберігаються протягом довгого часу, без погіршення якості виробів [5].

Останніми роками підвищується попит у використанні насіння і оболонки люпину білого у харчових продуктах. Борошно та білкові ізоляти, виготовлені з насіння та лущиння люпину, застосовуються у хлібній, кондитерській та інших галузях промисловості не тільки харчовій, а й фармацевтичній [6].

Раціон харчування українців за останні роки дещо змінився і характеризується великим споживанням жирів та дефіцитом поліненасичених жирних кислот (ПЖК), волокон харчових і білків [7, 8].

У той же час спостерігається дефіцит ПЖК, макроелементів, волокон харчових, мікроелементів та вітамінів.

Зменшення енергії, що споживається та невелика споживча цінність щоденних продуктів харчування посприяли зниженню поживних елементів у раціоні українців [9,10].

Одним із завдань технологічного удосконалення м'ясних напівфабрикатів заморожених є введення нетрадиційних (допоміжних) видів інгредієнтів. Це дозволить знизити собівартість готової продукції, зберегти її якість і підвищувати харчову цінність [11].

Серед інноваційних технологій у м'ясній промисловості особливо доцільним є застосування волокон харчових рослинного походження як водоутримуючих компонентів у м'ясних фаршах, це надасть продуктам певні функціонально-технологічні властивості [12].

Люпин, серед зернобобових культур і, навіть у порівнянні із злаковими, має найбільший вміст білка в насінні, практично 33-50% залежно від виду, сорту і умов вирощування. Вміст білка в одній тонні люпину еквівалентний 4,5 тоннам ячменю, 5-6 тоннам кукурудзи.

Білок люпину за своїм складом незамінних амінокислот і біологічною цінністю прирівнюється до найціннішого соєвого білка, оскільки містить всі 10 незамінних амінокислот, серед яких аргінін (3,6%), валін (4,3%), гістидин (2,9%), лізин (4,3%) і лейцин (9,8%) [13, 14].

Згідно з даними науковців, насіння люпину містить 43% білка, 23% безазотистих екстрактів, 12,8% клітковини, 5% жиру і 3,8% золи.



Один кілограм насіння білого люпину забезпечує 4,12 г кальцію, 3,18 г фосфору, 3,39 г калію, 4,61 г натрію, 0,096 мг йоду, 6,2 г міді, 82,25 мг марганцю, 41,67 мг цинку, 181 мг заліза, 0,042 г кобальту та 2,163 мг нікелю. Білий люпин набуває все більшої популярності завдяки високій продуктивності та якості насіння, яка порівнюється з соєю. Вміст білка в білому люпині коливається від 36,0% до 37,7%, жиру — від 8% до 10%, а алкалоїдів — від 0,03% до 0,07% [15, 16].

Продукти з насіння люпину мають антибактеріальні, знеболюючі, протизапальні, імуностимулюючі та тонізуючі властивості. Регулярне споживання таких продуктів сприяє покращенню стану шлунково-кишкового тракту, підвищенню опорності до інфекцій, зміцненню імунітету та покращенню кровообігу [17, 18].

Аналіз останніх досліджень. Стосовно виготовлення пельменів з м'ясом, існує немало досліджень. Наприклад, у роботі [19] зазначені пункти виготовлення січених напівфабрикатів: приготування тіста та фаршу, формовки, заморозки, фасування та пакування.

У дослідженні [20] підкреслюється важливість приготування тіста для пельменів, яке повинно мати високу пластичність. Борошно, яке використовується для тіста, має відповідати визначеним вимогам: температура повинна бути 18-20°C, а вміст клейковини — не < 30%. Спершу борошно просіюється та очищається через магнітну пастку. Після помелу борошно витримується при температурі 20-25°C більше сіми днів.

Тісто для пельменів замішують як у змішувачах періодичної дії (20 хв.), так і у змішувачах безперервної дії. Дозатори дозують борошно, воду, розчин солі, меланж або/та сироватку згідно з рецептурою. Вологість тіста повинна становити 39-42%.

Замішування тіста в агрегатах періодичної дії, відповідно до роботи [21], перед штамповкою потребує витримки 40-60 хв. для кращої пластичності. В агрегатах безперервної дії тісто зберігається під час процесу замісу та формування пельменів. Готові трубочки (фарш всередині, тісто зовні) переміщуються на конвеєрний лоток й безпосередньо на стрічковий конвеєр, де вони притрушуються борошном, й обдуваються теплим повітрям, щоб тісто не прилипало до дисків, що штампують. Пельмені формуються барабаном для штамповки, який формує та склеює пельмені в один й той самий час. Для малих (крафтових) виробництв також є настільні пельменні машини з одним барабаном, що штампує.

При формуванні січених напівфабрикатів - котлет з порошком люпину білого, в роботі [22] проаналізовано було кількісне співвідношення. Кількісного співвідношення внесення порошку люпину білого до пельменів в літературі майже не проаналізовано.



Відомо також, про те що шрот з люпину і білкова суміш застосовуються у виробках кондитерських, пудингах, заміниках молока та як засіб для зменшення рівня цукрів в крові у діабетиків [23,24]. У Німеччині винайдено технологію для отримання чистого білка, олії, клітковини та алкалоїдів з люпину [25]. У США порошкоподібний люпин застосовують для виготовлення макаронів, що не розварюються, та виготовляються без додавання солі або/та олії [26].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є удосконалення технології напівфабрикатів січених у замороженому вигляді – пельменів, із додаванням порошкоподібного люпину білого. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Проаналізувати рецептурний склад виготовлення пельменів;
2. Визначити доцільність використання порошкоподібного люпину у харчовій промисловості.
3. Удосконалити склад рецептури пельменів, шляхом додавання порошкоподібного люпину;
4. Визначити вимоги до якості пельменів.

Основна частина. На основі технології виробництва продукту-аналогу [20] даних виробів у замороженому вигляді розроблена технологія із внесенням порошкоподібного люпину білого.

Ось аналіз технологічного процесу виробництва пельменів:

Після помелу борошно повинно бути витримане при температурі 20-25°C і відносній вологості 75-85% не менше сіми днів. Перед використанням просівають його для видалення металічних домішок. Для виготовлення тіста температура борошна має бути в межах 18-20°C [20].

Приготування меланжу: розмерзання здійснюється шляхом поміщення банки з замороженим меланжем у водяну баню високої температури - 45°C. Альтернативно, пакет із замороженим меланжем можна розморозити у контейнері при температурі 18-20°C. Після розморожування необхідно перевірити якість меланжу органолептичним способом. Розморожений меланж не слід зберігати.

Меланж необхідно розчинити в невеликій кількості солоної води для рівномірного розподілу в тісті.

Обсяг води, доданої в меланж, повинен бути врахований при розрахунку загальної кількості води для виготовлення тіста.

Підготовка спецій: перед застосуванням сіль кухонну просіюють крізь сито, після - поділяють на порції, можна розчинити у воді. Розчин настоюється 4-6 години, після - його проціджують і додають



до фаршу та тіста. Цукор з перцем слід розділити на невеликі порції перед замісом.

Підготовка м'ясної сировини: м'ясо оброблюють відповідно до інструкцій для виготовлення ковбас. М'ясо 2 категорії розбирають, сполучну тканину видаляють, кровоносні судини, лімфатичні вузли, дрібні кістки і хрящі. Шлунок свиней ретельно очищають і варять при температурі 90-100°C впродовж 2-2,5 годин, після - охолоджують до 4-6°C.

Для виробництва пельменів по-столичному і по-селянськи рекомендується подрібнювати сире м'ясо за допомогою кутера.

Підготовка капусти: свіжу капусту очищають від жовтого листа, піддають миттю, розрізають на частини та подрібнюють до однорідної маси, або, для полегшення роботи, застосовують м'ясорубку з отвором діаметром 2-3 мм.

Використовують і заморожену капусту, подрібнивши її різакom впродовж 1-1,5 хвилин або частково її розморозивши на повітрі впродовж 1-2 годин, після - нарізати або подрібнити на м'ясорубці з отвором діаметром 2-3 мм.

Підготовка цибулі: свіжу цибулю слід почистити і промити. Свіжу або сушену цибулю потрібно замочити у воді перед додаванням до фаршу. Рекомендується подрібнювати цибулю разом з м'ясом.

Сировину і допоміжні матеріали, які йдуть на виробництво, повинні бути у відповідності до ДСТУ 6028:2008 [27]. Якість сировини має контролюватися впродовж терміну зберігання до моменту переробки. Усі інгредієнти для готування пельменів мають відповідати чинним вимогам.

Отримані дослідження підтверджують раціональність доданих для споживання порошкоподібного люпину до м'ясного фаршу. Це практично не впливає на органолептику, термін збереження чи реалізацію продукту. Подрібнені оболонки люпину повинні мати розмір часток не більше 120 мкм, оскільки більші частки погіршують якість продукту.

Вміст оболонок люпину оптимальної кількості у рецептурі м'ясних напівфабрикатів січених визначався шляхом розробки удосконаленої рецептури з подальшими випробуваннями. Для виготовлення зразків для контролю якості використовували збірник рецептур № 658 [28].

Впровадження проводилось шляхом часткової або повної заміни свіжої капусти в рецептурі на визначену кількість оболонок люпину [5%, 10%, 15% від маси начинки у сирому вигляді). Після проводили дослідження органолептичних і фізико-хімічних властивостей як напівфабрикатів, так і готової продукції.



Порошкоподібний люпин змішували з фаршем під час механічного перемішування та подрібнення на м'ясорубці. Оболонки перед використанням гідратували: замочували у воді при температурі 20°C у співвідношенні 1:2 на 30-60 хвилин. Після їх ретельно просіювали до розміру частинок 120 мкм. Попереднє гідратування покращує властивості оболонок, вони стають більш доступними для перетравлення, що полегшує взаємодію з іншими компонентами м'ясного виробу. Змішування оболонок люпину з м'ясним фаршем майже не впливає на структурно-динамічні властивості продукту, термін зберігання чи реалізацію, але розмір часток не повинен перевищувати 120 мкм, інакше якість органолептики продукту може суттєво погіршитися.

Згідно з результатами органолептичних досліджень, визначено найбільш оптимальну кількість оболонок люпину для додавання до рецептури напівфабрикатів січених. Оцінка органолептики напівфабрикатів січених високого ступеню готовності представлена у таблиці 1.

Таблиця 1

Органолептична оцінка січених напівфабрикатів високого ступеню готовності

Зразки	Оцінка показників
Рецептура № 1 (5 % х. о.)	Зовнішній вигляд і колір відповідають характеристикам продукту; запах сирих виробів свідчить про використання якісної сировини; консистенція соковита
Рецептура № 2 (10 % х. о.)	Зовнішній вигляд і колір відповідають характеристикам продукту; запах сирих виробів вказує на якісну сировину; консистенція соковита та не крихка
Рецептура № 3 (15 % х. о.)	Зовнішній вигляд і колір відповідають характеристикам продукту; запах сирих виробів свідчить про використання якісної сировини; консистенція крихка та не соковита

Характеристику органолептичних показників готових виробів наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристика показників органолептики готових виробів

Найменування продукту	Частка об-к люпину, % від м'ясної начинки	Оцінка продукту по п'яти бальній шкалі					Загальна оцінка в балах
		Зовнішній вигляд	Колір	Запах	Консистенція	Смак	
Січені напівфабрикати	-	5	5	5	5	5	25
Зразок №1	5	5	4,8	4,5	4	4,4	22,7
Зразок №2	10	5	4,6	4,5	5	4,6	23,7
Зразок №3	15	5	4,4	4,5	3	4,6	21,5

Результати оцінки органолептики представлено у вигляді профіллограми на рис. 1.

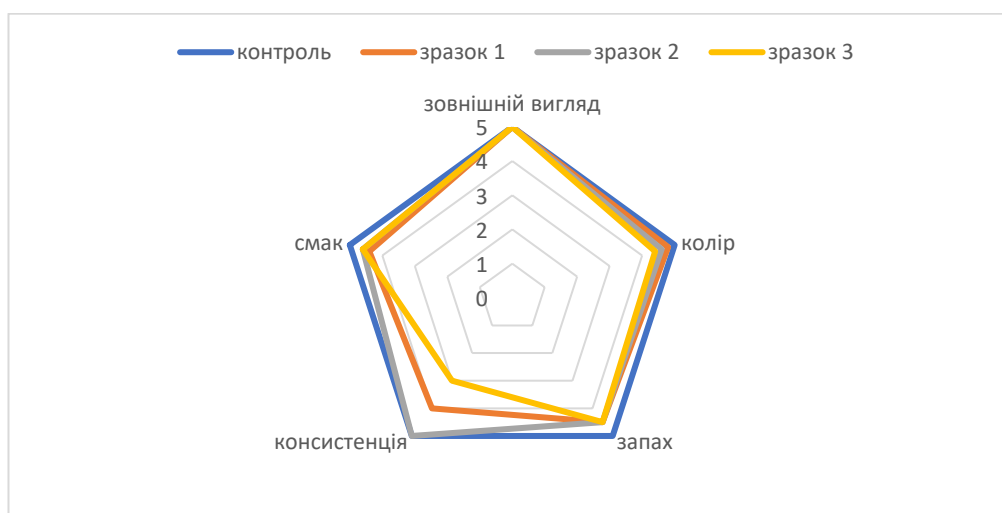


Рис. 1. Результати оцінки органолептики готової продукції.

З таблиці видно, що найкраща пропорція додавання порошкоподібного люпину складає 10% від маси м'ясної начинки. На основі проведених досліджень було обґрунтовано рецептуру (таблиця 3) та технологічні параметри отримання напівфабрикатів січених з використанням порошкоподібного білого люпину.



Таблиця 3

Рецептура напівфабрикатів січених з додаванням порошкоподібного білого люпину

Найменування сировини та напівфабрикатів	Кількість сировини на 1000 г готової продукції, г	
	Брутто	Нетто
1	2	3
<i>тісто</i>		
Борошно пшеничне вищого гатунку	700	700
Яйця	60	60
Вода	260	260
Сіль кухонна харчова	15	15
<i>начинка</i>		
Свинина (котлетне м'ясо)	381	325
Оболонки люпину (порошок)	43	43
Цибуля ріпчаста	50	42
Сіль кухонна харчова	9	9
Перець чорний мелений	0,3	0,3
Вода	50	50
<i>змащування</i>		
Меланж або яйця для змазки	20	20
Підготовка сировини, підготовка борошна.		
Всього	-	1524
Вихід	-	1000

З метою проведення оцінки якостей смаку виготовленої продукції провели дегустацію вироблених напівфабрикатів, в яких часточка доданого порошку оболонки люпину складає 10% від маси начинки із м'яса.

Для проведення дегустації відібрали зразки пельменів у відповідності до нормативних документів. Смак й аромат пельменів проводили у вареному стані. Пельмені піддавалися варінню у воді із співвідношенням 4:1 до кількості безпосередньо пельменів впродовж 4 хвилин після того, як сплили на поверхню води. Також у воду під час варіння додавали для смаку сіль. Приготовлені пельмені мали гарний аромат та смак, який повинен бути для якісних м'ясних продуктів. Також фарш, який брали для пельменів теж підсолювали. Якісні показники запропонованих пельменів приведено в таблиці 4.



Таблиця 4

Характеристика якісних показників пельменів

Показник	Характеристика
Зовнішній вигляд	Пельмені не деформовані, краї оболонки з тіста щільно склеєні, фарш не виступає, поверхня суха, при струшуванні пакувальної одиниці виражають ясний звук
Вигляд на розрізі	Тонка оболонка з тіста від білого до кремового кольору; начинка рівномірно перемішана, від темно-червоного до світло-рожевого кольору, а при використанні цибулі, прянощів та порошку оболонки люпину – сіро-коричневого кольору
Консистенція	У вареному вигляді - фарш соковитий, ніжний, оболонка з тіста не розірвана
Смак і запах	У сирому вигляді - властиві доброякісній сировині та спеціям, у вареному - властиві даному продукту, без стороннього смаку і запаху

Зварені пельмені можна зберігати в холодильнику при температурі нижче +5°C до 1 дня. Безпосередньо перед вживанням їх слід розігріти на сковороді або в мікрохвильовій печі протягом декількох хвилин.

Висновки. Робота відповідає меті – удосконалення технології напівфабрикатів січених у замороженому вигляді – пельменів, із додаванням порошкоподібного люпину білого. На основі проведених досліджень обґрунтовано рецептурно-технологічні виробництва січених напівфабрикатів з використанням порошку оболонки люпину. Так, удосконалено рецептуру шляхом додавання 43г порошку оболонки люпину на 1000 г сировини. Додавання порошку оболонки люпину до пельменів зменшило вміст вуглеводів майже на 50%, при цьому вміст білка збільшився до 53,72% від ваги сировини (10,2% у прототипі з капустою), а вміст мінеральних речовин, вітамінів та жирів суттєво підвищився.

Визначено застосування оболонки люпину у харчовій промисловості. З'ясовано, що за вмістом білка 1 тонна люпину еквівалентна 4,5 тонам ячменю та 5-6 тонам кукурудзи. За вмістом незамінних амінокислот і біологічною цінністю білок люпину можна порівняти з найціннішим соєвим білком. Він містить всі 10 незамінних амінокислот, включаючи аргінін (3,6%), валін (4,3%), гістидин (2,9%), лізин (4,3%) і лейцин (9,8%).

Пельмені виготовлено відповідно до вимог нормативної документації, а якість нового продукту відповідає вимогам, що



пред'являються до нього. Доцільний вміст оболонки люпину в рецептурах напівфабрикатів з м'ясних січених напівфабрикатів визначено шляхом розробки типової рецептури та апробації. Для приготування зразків використовували збірник рецептур № 658. Це здійснювалося шляхом повної або часткової заміни свіжої капусти в рецептурі на певну кількість оболонки люпину (5, 10 або 15% від ваги наповнювача напівфабрикату), після чого досліджувалися органолептичні властивості як напівфабрикату, так і готової продукції. Сенсорна оцінка показала, оптимальним відсотком додавання порошку з оболонки люпину є 10 % від маси м'ясної начинки.

У роботі визначено вимоги до якості пельменів, що наведені у таблиці 4.

Список використаних джерел

1. Савченко-Перерва М.Ю. Савенко О.М. Інноваційна діяльність м'ясної промисловості. *Технології XXI сторіччя*: зб. тез за матеріалами 29-ої міжнародної науково-практичної конференції. 2023. Вип. 1. С. 54–55.
2. Savchenko-Pererva M. Y. Duan Dawei. Application and benefits of potato fiber in different food production. *Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої Міжнародному дню студента*. 2020. Вип.1. С.447.
3. Zahorulko A., Sabadash S., Savchenko-Pererva M., Radchuk O., Rozhkova L. & Kazakov D. Design development of a continuous industrial drying plant for drying pomace of walnuts, peanuts and Pistachios. *Technology audit and production reserves*. 2019. Vol. 6, No 1. P. 32–35.
4. Savchenko-Pererva M. Innovative engineering solution in hotel and restaurant industry. *Modern engineering and innovative technologies*. 2022. Vol. 20, No 1. P. 3–7. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2022-20-01-010>.
5. Гіренко Н. І., Крамаренко Д. П. Перспективні напрями використання у ресторанному господарстві нових заморожених фаршевих напівфабрикатів. *Науковий вісник Полтавського університету економіки та торгівлі. Серія «Технічні науки»*. 2022. Вип. 1. С. 18-22. <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2022-1-3>.
6. Савченко-Перерва М. Ю., Літвінов В. О. Сучасні перспективи використання рослинної сировини у виробі з м'яса. *Технології XXI сторіччя*: збірник тез за матеріалами 29-ої міжнародної науково-практичної конференції. 2023. Вип. 1. С. 51–52.
7. Liezhou Zh., Ali H., Fang Zh., Wahlqvist M. L., Hodgson J. M., & Johnson S. K. Lupin seed coat as a promising food ingredient: physicochemical, nutritional, antioxidant properties, and effect of genotype



andenvironment. *International Journal of Food Science and Technology*. 2020. Vol. 55. P. 1816–1824.

8. Stuart R. M., Rewati K. J., Bhattarai R. Lupin Kernel Fibre: Nutritional Composition, Processing Methods, Physicochemical Properties, Consumer Acceptability and Health Effects of Its Enriched Products. *Nutrients*. 2022. Vol. 14, No. 14. P. 2845. <https://doi.org/10.3390/nu14142845>.

9. Zhong L., Ali H., Fang Z., Wahlqvist M.L., Hodgson J.M., Johnson S.K. Lupin seed coat as a promising food ingredient: Physicochemical, nutritional, antioxidant properties, and effect of genotype and environment. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2020. Vol. 55. P. 1816–1824.

10. Augustin L. S., Aas A.-M., Astrup A., Atkinson F. S., Baer-Sinnott S., Barclay A. W., Brand-Miller J. C., Brighenti F., Bullo M., Buyken A. E. Dietary fibre consensus from the international carbohydrate quality consortium (ICQC). *Nutrients*. 2020. Vol. 12. P. 2553.

11. Goff H. D., Repin N., Fabek H., El Khoury D., Gidley M. J. Dietary fibre for glycaemia control: Towards a mechanistic understanding. *Bioact. Carbohydr. Diet. Fibre*. 2018. Vol. 14. P. 39–53.

12. Bhattarai R. R., Dhital S., Williams B. A., Yang H. J., Mikkelsen D., Flanagan B. M., Gidley M. J. In vitro fermentation of legume cells and components: Effects of cell encapsulation and starch/protein interactions. *Food Hydrocoll.* 2021. Vol. 113. P. 106538.

13. Zhong L., Fang Z., Wahlqvist M. L., Wu G., Hodgson J. M., Johnson S. K. Seed coats of pulses as a food ingredient: Characterisation, processing, and applications. *Trends Food Sci. Technol.* 2018. Vol. 80. P. 35–42.

14. Naumann S., Schweiggert-Weisz U., Haller D., Eisner P. Retention of primary bile acids by lupin cell wall polysaccharides under in vitro digestion conditions. *Nutrients*. 2019. Vol. 11. P. 2117.

15. Bader Ul Ain H., Saeed F., Ahmed A., Asif Khan M., Niaz B., Tufail T. Improving the physicochemical properties of partially enhanced soluble dietary fiber through innovative techniques: A coherent review. *J. Food Processing Preserv.* 2019. Vol. 43. P. e13917.

16. Xiaoran D., Suyan G., Shoumin J., Zhang L., Ruihuan D., Xiang A., Biao Q., Lei W. Research Status and Progress on Modification of Dietary Fiber at Home and Abroad. *Agric. Biotechnol.* 2019. Vol. 8. P. 131–135.

17. Yang Y.-Y., Ma S., Wang X.-X., Zheng X. Modification and application of dietary fiber in foods. *J. Chem.* 2017. P. 9340427.

18. Naumann S., Schweiggert-Weisz U., Martin A., Schuster M., Eisner P. Effects of extrusion processing on the physiochemical and functional properties of lupin kernel fibre. *Food Hydrocoll.* 2021. Vol. 111. P. 106222.



19. Zhu Q., Liang Y., Shao Zh. Dumpling Cooking - Modeling and Simulation. *IFAC-Papers OnLine*. 2015. Vol. 48, No. 8. P. 439-444.
20. Ястреба Ю. А., Пасічний В. М. Удосконалення технології м'ясних січених напівфабрикатів шляхом використання добавок гідрокоолідів. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2015. Вип. 1. С. 250–257.
21. Yu. Li, Zhang C., X. Jiang, Gao M. The effects of different additives on the physical properties of dumpling wrapper. *Journal of Food Measurement and Characterization*. Vol.13, No. 4. P. 1–9.
22. Ward N. C., Mori T. A., Beilin L. J., Johnson S., Williams C., Gan S. K., Puddey I. B., Woodman R., Phillips M., Connolly E. The effect of regular consumption of lupin-containing foods on glycaemic control and blood pressure in people with type 2 diabetes mellitus. *Food Funct.* 2020. Vol.11. P. 741–747.
23. Silventoinen P., Sipponen M.H., Holopainen-Mantila U., Poutanen K., Sozer N. Use of air classification technology to produce protein-enriched barley ingredients. *J. Food Eng.* 2018. Vol. 222. P. 169–177.
24. Zhu H.-G., Tang H.-Q., Cheng Y.-Q., Li Z.-G., Tong L.-T. Electrostatic separation technology for obtaining plant protein concentrates: A review. *Trends Food Sci. Technol.* 2021. Vol. 113. P. 66–76.
25. Seal C. J., Courtin C. M., Venema K., de Vries J. Health benefits of whole grain: Effects on dietary carbohydrate quality, the gut microbiome, and consequences of processing. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2021. Vol. 20. P. 2742–2768.
26. Abreu B, Lima J, Rocha A. Consumer Perception and Acceptability of Lupin-Derived Products. *A Systematic Review. Foods*. 2023. Vol. 12, No 6. P. 1241. <https://doi.org/10.3390/foods12061241>.
27. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання: ДСТУ 6028:2008 Напівфабрикати з м'ясом у тістовій оболонці заморожені. Загальні технічні умови. З поправкою.
28. Методична розробка уроку виробничого навчання. URL: <https://naurok.com.ua/metodichna-rozrobka-uroku-virobnichogo-navchannya-381873.html> (дата звернення 21.08.2024).

Стаття надійшла до редакції 27.08.2024 р.



M. Savchenko
Sumy National Agrarian University

USE OF VEGETABLE POWDER IN CUT SEMI-FINISHED PRODUCTS

Summary

The work corresponds to the goal of improving the technology of frozen cut semi-finished products - dumplings, using white lupine shell powder.

Based on the conducted studies, the recipe and technological production of chopped semi-finished products using lupine shell powder are substantiated. Thus, the recipe was improved by adding 43 g of lupine shell powder per 1000 g of raw materials. Adding lupine shell powder to dumplings reduced the carbohydrate content by almost 50%, while the protein content increased to 53.72% of the raw material weight (10.2% in the prototype with cabbage), and the content of minerals, vitamins and fats increased significantly.

The use of lupine shells in the food industry is determined. It was found that in terms of protein content, 1 ton of lupine is equivalent to 4.5 tons of barley and 5-6 tons of corn. In terms of essential amino acid content and biological value, lupine protein is comparable to the most valuable soy protein. It contains all 10 essential amino acids, including arginine (3.6%), valine (4.3%), histidine (2.9%), lysine (4.3%) and leucine (9.8%). The dumplings were made in accordance with the requirements of regulatory documentation, and the quality of the new product met the requirements imposed on it. The optimal content of lupine shells in the recipes of semi-finished meat cut semi-finished products was determined by developing a typical recipe and testing. Recipe collection No. 658 was used to prepare the samples. This was done by completely or partially replacing fresh cabbage in the recipe with a certain amount of lupine shells (5, 10 or 15% of the weight of the semi-finished product filler), after which the organoleptic properties of both the semi-finished product and the finished product were studied. Sensory evaluation showed that the optimal percentage of lupine shell powder addition is 10% of the meat filling weight. The work defines the requirements for the quality of dumplings.

Key words: meat, meat and vegetable raw materials, process, food industry, food products, recipe composition, production, nutritional value, quality indicators.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-13

УДК 637.133.3:664.56

Л. М. Крижак¹, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-4882-897X

Г. П. Калініна², к.т.н.

ORCID: 0000-0002-6178-7885

¹Вінницький торговельно-економічний інститут ДТЕУ²Білоцерківський національний аграрний університет

e-mail: liliakrizhak44@gmail.com, тел.: +380967242684

ПРОЛОНГУВАННЯ ЗБЕРІГАННЯ ПАСТЕРИЗОВАНОГО МОЛОКА ЗА ДОДАВАННЯ ЕКСТРАКТУ КОРИЦІ (CINNAMOMUM BURMANNII)

Анотація. Комерційне пастеризоване молоко, як правило в Україні має відносно короткий термін зберігання 5-7 днів. Щоб уникнути цього, необхідно додавати натуральні інгредієнти, які мають зберегти якість, пригнічуючи ріст хвороботворних бактерій, щоб можна було продовжити термін зберігання пастеризованого молока. Одним із таких природних інгредієнтів є кориця (*Cinnamomum burmannii*), яка має антибактеріальні властивості завдяки своїм метаболічним компонентам. В роботі досліджено можливість пролонгування зберігання пастеризованого молока за додавання екстракту кориці. До пастеризованого молока додавали екстракт кориці у кількості 0,5%. Застосовували рандомізований вибір строків зберігання – 4 періоди (0 днів, 3 дні, 7 днів, 14 днів, 21 день) за чотирикратного повторювання. Вимірювані параметри включали аналіз рН, загальну бактеріальну забрудненість і антибактеріальну активність екстракту кориці проти *Escherichia coli* та *Staphylococcus aureus*. Доведено, що екстракт кориці не змінює значення рН та зберігає якість пастеризованого молока впродовж зберігання. Це пов'язано з вмістом антибактеріальних речовин екстракту кориці, які здатні пригнічувати ріст бактерій таким чином, що якість молока впродовж до 3 тижнів зберігання залишається стабільною.

Ключові слова: молоко-сировина, пастеризація, кора кориці, екстракт кориці, антибактеріальна активність, зберігання.

Постановка проблеми. Молоко є першим і дуже корисним харчовим продуктом, що містить повноцінні білки (основні казеїн і альбумін), різні типи жирних кислот (наприклад, масляну кислоту) і лактозу, а також мікроелементи (особливо кальцій), антиоксиданти та вітаміни, які відіграють важливу роль у зростанні, розвитку та захисті здоров'я людини, особливо немовлят, дітей та літніх людей. Тому в усьому світі спостерігається тенденція до збільшення споживання молока та молочних продуктів.

За даними Міністерства сільського господарства США впродовж 2022 року світове споживання рідкого молока становило 190,72 млн. тон. У розвинутих країнах споживання пастеризованого молока

становить понад 99% рідкого молока, завдяки тому, що пастеризація зберігає поживний склад і смак молока. Однак пастеризоване молоко має обмежений строк зберігання за дотримання певних умови зберігання [1].

Пастеризація – популярний метод дезінфекції рідких харчових продуктів, який застосовується з метою знищення патогенних бактерій і зниження ферментативної активності. В такий спосіб досягають пролонгування строку придатності продуктів. Методи пастеризації задіюють безперервні механізми теплообміну для знищення мікроорганізмів у рідких харчових продуктах, таких як молоко. Традиційна дезактивація мікроорганізмів термічною обробкою може змінити смак, колір і харчову цінність продукту [2].

Пастеризоване молоко має відносно короткий строк зберігання 5 – 7 діб, що залежить від технології, обладнання, режимів теплового оброблення, умов фасування та виду упаковки і безпосередньо від якості вихідного молока. Подвійна пастеризація або ультрапастеризація забезпечує кращі показники щодо збереженості молока впродовж довшого строку. Але враховуючи економічні показники щодо витрат на технологію, актуальним є пошук альтернативних методів збереження якості продуктів за зниження його собівартості. Тому одним з таких способів є використання натуральних антиоксидантів, які здатні пригнічувати ріст бактерій і водночас збагачувати продукт біологічно активними компонентами [3, 4].

Популярності набувають молочні продукти комбінованого складу сировини, до складу яких входять натуральні рослинні компоненти, які можуть бути додані у вигляді сухого порошку, екстракту, сиропу, концентрату, сублімовані форми, перероблені, консервовані [5, 6, 7].

Мета комбінування може бути різною: формування кольору, смаку, запаху, консистенції; знешкодження мікрофлори, пригнічення її розвитку; підвищення біологічної цінності за рахунок модифікації жирового та білкового складу продукту тощо. Але за використання натуральних інгредієнтів якість і властивості молока мають бути стабільними і стійкими. Так, в роботі [8], обґрунтовано пролонгування строків зберігання молочних напоїв за додавання екстракту цикорію, екстрактивні речовини якого здатні стабілізувати казеїн під час високотемпературної пастеризації, що в свою чергу гарантує досягнення максимального ефекту пастеризації щодо знищення мікрофлори молока. При цьому екстракт цикорію виступає як органолептична так і як технологічна компонента молочного напою.

Харчова промисловість і споживачі зацікавлені у пошуку способів збереження смакових властивостей та поживної цінності молока за технологічних процесів, які є більш енергоефективними в порівнянні з класичними термічними процесами [9 – 17].



Тому вбачаємо інновації у вигляді додавання інгредієнтів, таких як спеції, які володіють антибактеріальними властивостями, щоб гарантувати довший строк придатності молока.

Аналіз останніх досліджень. Багато рослин володіють інгібіторними властивостями відносно мікрофлори завдяки вмісту метаболічних компонентів. Одним із таких природних інгредієнтів є кориця (*Cinnamomum burmannii*). Це спеція, яку зазвичай використовують як інгредієнт для приготування десертів та напоїв. Має характерний аромат і є альтернативою традиційним лікам у лікування захворювань шлунково-кишкового тракту, спричинених розвитком мікробів.

Відповідно до [18], кориця (*Cinnamomum burmannii*) – природна речовина, відома як одна з прянощів, але пізніше відомою стала в традиційній медицині. Кора кориці містить антибактеріальні сполуки, такі як евгенол і коричний альдегід. Авторами [18] Н. Б. Реппі, К. Мамбо, Д. Вуісан було охарактеризовано бактерії грамнегативні та грампозитивні бактерії *Escherichia coli* та *Streptococcus pyogenes*.

Проведені вказаними науковцями дослідження, засвідчили антибактеріальний ефект кори кориці відносно *E.coli* та *S.pyogenes* шляхом вимірювання діаметрів зон гальмування росту колоній. Зразки кори кориці екстрагували методом мацерації за використання етанолу концентрацією 80%. Результати показали, що загальний діаметр інгібуючої зони екстракту кори кориці проти *E. coli* становив 43 мм із середнім значенням 14,3 мм, а загальний діаметр інгібуючої зони проти *S. pyogenes* становив 75 мм із середнім 25 мм, що підтверджує антибактеріальну дію екстракту кори кориці проти *Escherichia coli* та *Streptococcus pyogenes*.

Ефірна олія екстракту кориці містить 55-65% коричневого альдегіду і 4-8% евгенолу, камфору, сафролу, цинамілу альдегід, цинамілу ацетат, терпену цинеол, цитраль, цитронелу, поліфеноли та бензальдегід, що мають антибактеріальні властивості проти *Streptococcus pyogenes* та бактерії *Escherichia coli* [20].

В таблиці 1 вказано основні показники складу кориці меленої вказані за даними джерела SR Legacy FoodData Central [21].

Дослідниками було встановлено ефективність додавання екстракту кори кориці з метою збільшення строку придатності напою з кави. Роботу проводили методом рандомізованого дизайну (RD) з двома факторами: концентрація екстракту кори кориці (М) – 0% (контроль), 0,5%, 1% і 1,5% і час зберігання (L) – 0 днів, 5 днів, 10 днів, 15 днів і 20 днів. Результати дослідження показали, що ефективність концентрації екстракту кори кориці мав суттєвий вплив на загальну кислотність, рН, загальну кількість мікроорганізмів, цвілі та дріжджів, на колір, аромат, смак та на оцінку кольору, оцінку аромату та оцінку смаку.



Таблиця 1

Основні показники складу кориці сухої меленої

Основні показники складу кориці сухої меленої	
Сухі речовини, %	87,5 – 89,4
Нутрієнти, в 100 г	
Енергетична цінність, ккал	247
Білки, г	3,99
Жири, г	1,27
В тому числі, рослинні жири, г	1,27
Вуглеводи, г	27,49
Зола, г	3,6
Харчові волокна, г	53,1
Вітаміни	
Бета-каротин, мкг	113
Вітамін А	15
Тіамін (Вітамін В ₁), мкг	0,022
Рибофлавін (Вітамін В ₂), мг	0.041
Ніацин (Вітамін В ₃ РР), мг	1.332
Холін (Вітамін В ₄), мг	11
Пантотенова кислота (Вітамін В ₅), мг	0.358
Вітамін В ₆ , мг	0.158
Вітамін С, мг	3.8
Вітамін Е, мг	2.32
Вітамін К, мкг	31.2
Макро- і мікроелементи	
Калій, мг	431
Кальцій, мг	1002
Магній, мг	60
Натрій, мг	10
Фосфор, мг	64
Залізо, мг	8,32
Марганець, мг	17,466
Мідь, мг	0,339
Селен, мг	3,1
Цинк, мг	1,83
Ліпіди	
Насичені жирні кислоти, г	0,345
Мононенасичені жирні кислоти, г	0,246
Поліненасичені жирні кислоти, г	0,068
Фізико-хімічні показники	
Цукор, г	2,17
Жир, г	1,24

В межах впливу факторів концентрації екстракту кори кориці та часу зберігання контролювали кислотність, показник рН, загальну кількість мікроорганізмів, цвілі та дріжджів, які значно відрізнялися від аналогічних показників контрольного зразку без екстракту кориці.



Встановлено, що екстракт кори кориці концентрацією 0,5% може продовжити строк зберігання напою з кави до 10 днів [22].

Формулювання цілей статті. Метою роботи є дослідження і обґрунтування використання в технології пастеризованого молочного напою екстракту кориці, антиоксиданти якого здатні пригнічувати ріст бактерій і водночас збагатити продукт біологічно активними компонентами кориці.

Предметами дослідження виступали: пастеризоване молоко з масовою часткою жиру 2,5 % ДСТУ 2661:2010 виробника ПрАТ «Тернопільський молокозавод»; натуральні палички кориці (*Cinnamotum Cassia*) (врожай сировини вересень 2023р.), країна – виробник AGROTEX VIET NAM, JSC (м. Ханой, В'єтнам), торгівельна марка «Здорово», розфасовано ФОП «Поліщук В.Ю.». З наданими свідоцтвом про відсутність алергенних речовин та сертифікатом про відсутність генетично модифікованих організмів (даним документом виробник гарантує, що товар на 100 % безпечний до споживання людиною, вільний від радіації, та що генетично модифікованих організмів в них, а також в сировині, з якої безпосередньо було вироблено товар, не виявлено). За даними декларації виробництва в табл. 2 наведено склад основних показників паличок кориці.

Ефективність термічної обробки молока визначали виявленням у молоці ферментів пероксидази і фосфатази, які інактивують за температури підігріву не нижче 80°C з витримуванням 20-30 с.

В роботі досліджували можливість пролонгування зберігання пастеризованого молока за додавання екстракту кориці. До пастеризованого молока додавали екстракт кориці у кількості 0,5%. Застосовано рандомізований вибір строків зберігання – 4 періоди (0 днів, 3 дні, 7 днів, 14 днів, 21 день) за чотирикратного повторювання. Вимірювані параметри включали аналіз рН, загальну бактеріальну забрудненість і антибактеріальну активність екстракту кориці проти *Escherichia coli* та *Staphylococcus aureus*.

Приготування екстракту кориці – промивання кори кориці дистильованою водою, просушування у термостаті за температури 40 °C впродовж 10 хвилин, подрібнення на дробарці до стану порошку, просіювання на ситах (D 1 мм). Порошок кориці змішували з дистильованою водою за температури 85±5 °C при гідромодулі 1:10, витримка 5 хвилин. Фільтрували витяжку крізь паперовий фільтр. Отриманий жом також можна в подальшому використовувати в якості джерела харчових волокон у виробництві біологічно активних добавок. Вміст сухих речовин екстракту визначали рефрактометрично.



Таблиця 2

Основні показники складу натуральних паличок кориці (*Cinnamotum Cassia*) (врожай сировини вересень 2023р.)

Енергетична цінність продукту	247 Ккал/1034 кДж
Білки, г	4
Вуглеводи, з них: г	80,6
цукри, г	2,2
жири, г	1,2
насичені жирні кислоти, г	0,3
мононенасичені жирні кислоти, г	0,2
кислоти, г	0,1
харчові волокна, г	53,1
Вітаміни та мінерали	
Вітамін А, мкг	112
Вітамін С, мг	3,8
Вітамін Е, мг	2,3
Вітамін К, мг	31,2
Ніюцин, мг	1,3
Вітамін В6, мг	0,2
Фолієва кислота, мкг	6
Біотин, мг	3,9
Пантотенова кислота, мг	0,4
Калій, мг	431
Кальцій, мг	1002
Фосфор, мг	64
Магній, мг	60
Залізо, мг	8,3
Цинк, мг	1,8
Мідь, мг	0,3
Марганець, мг	17,5
Селен, мкг	3,1

Підготовка зразків: молоко пастеризували за температури 72-92 °С витримка до 30 секунд, охолоджували і розливали в стерильні пляшки об'ємом 200 см³, в кожену пляшку додавали екстракт кориці в кількості 0,5%. Зберігали в холодильнику при 4 °С впродовж зазначених строків – 0 днів, 3 дні, 7 днів, 14 днів, 21 день. Щодня проводили мікробіологічний контроль за стандартною методикою посівом на живильне середовище Коха [23].

Розведення проводили від 10⁻¹ до 10⁻⁶. Після цього 1 см³ суміші із розведенням 10⁻⁶ виливали в чашку Петрі та додавали живильне середовище з агаром. Чашки Петрі інкубували при 37 °С впродовж 48 годин. Кількість колоній у кожній чашці рахували за такою формулою:

$$\text{КУО/мл} = \text{ріст бактеріальної популяції} \times 1/(\text{розведення})$$

Контроль якості пастеризації: в пробірку поміщали 5 см³ проби, потім 2 краплі 2% парафенілендіаміну. Послідовно в 3 рази додавали розчин HCl і 4 краплі 0,5% розчину H₂O₂. Спостерігали за зміною забарвлення вмістимого: якщо молоко було підігріте до температури 70 °C і вище, то зразок залишиться білим, тоді як вмістиме з непастеризованим молоком стане синім.

Визначення рівня рН проводили за допомогою рН-метра марки Testo205.

Основна частина. Висока ефективність пастеризації підтверджена результатами досліджень зразків молока, пастеризованого при температурі від 72 °C і вище, які вказують на відсутність пероксидази.

Значення рН зразка пастеризованого молока з додаванням екстракту кориці (*Cinnamomum burmannii*), що зберігався впродовж 21 доби (3 тижні), коливалось від 6,24 до 6,44 (рисунок 1), цей діапазон значень лежить в межах стандартних значень: 6,3-6,8. При цьому слід зазначити, що екстракт кориці не змінював значення рН при додаванні. Це показує, що додавання екстракту кориці до пастеризованого молока зберігає якість пастеризованого молока впродовж зберігання. Напевно, це пов'язано з вмістом антибактеріальних речовин екстракту кориці, які здатні пригнічувати ріст бактерій таким чином, що якість молока впродовж до 3 тижнів зберігання залишається стабільною. Середнє значення рН представлено на рис. 1.



Рис. 1. Зміна активної кислотності зразків за зберігання

За результатами дослідження можна зробити висновок, що додавання 0,5% екстракту кориці до пастеризованого молока пролонгує зберігання пастеризованого молока до 21 днів.

За методом обчислення та аналізу кількості бактеріального забруднення харчових продуктів шляхом підрахунку колоній бактерій, які ростуть на агаризованих середовищах, визначили

середню кількість колоній у зразках пастеризованого молока з додаванням кориці впродовж зберігання, результати представлено на рис. 2

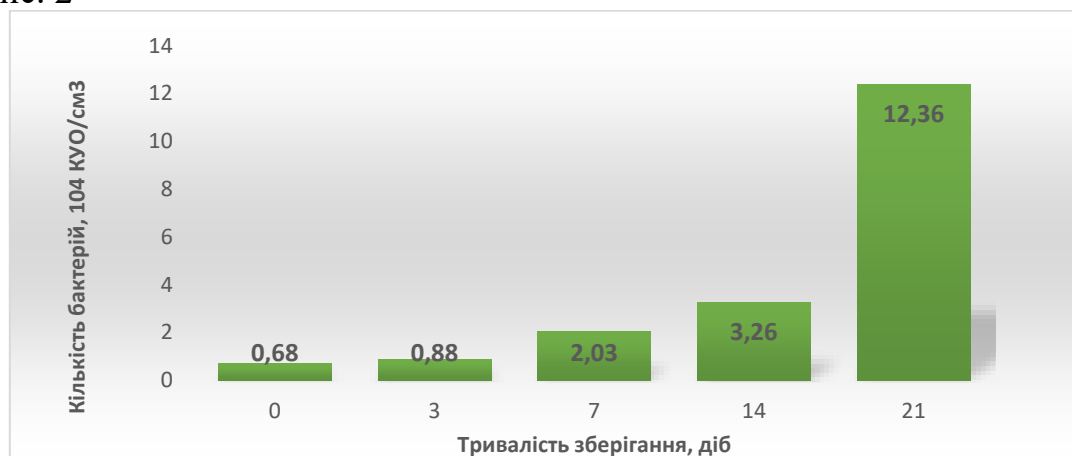


Рис. 2. Середнє значення загальної кількості бактерій

Результати аналізу показали, що додавання екстракту кориці (*Cinnamotum burmannii*) до пастеризованого молока пригнічує розвиток бактерій, що було доведено методом аналізу антибактеріальної активності екстракту кориці проти *Escherichia coli* та *Staphylococcus aureus*.

Отримані результати дослідження показали, що середня кількість бактерій коливалася від $0,8 \times 10^4$ КУО/см³ – $17,3 \times 10^4$ КУО/см³, що відповідає вимогам стандарту на пастеризоване молоко «ДСТУ 2661:2010 Молоко коров'яче питне. Загальні технічні умови», кількість мезофільних аеробних та факультативно- анаеробних мікроорганізмів (КМАФАМ) в 1,0 см³ продукту, КУО, не більше ніж 1×10^5 .

Але за зберіганням понад два тижні відмічено наростання кількості колоній бактерій, тому подальше зберігання є недоцільним. Тобто за тривалого зберігання екстракт кориці втрачає антимікробну активність щодо пригнічення бактерій. Це відповідає результатам аналогічних досліджень напоїв з кавою, висвітлених в роботі [24],

що вміст коричневого альдегіду, евгенолу і флавоноїдів в екстракті кориці можуть пригнічувати ріст мікробів.

За результатами проведених антибактеріальних випробувань за додавання 0,5% екстракту кориці виявлено інгібування бактерій *S. aureus*, але не було виявлено інгібування екстракту кориці до бактерій кишкової палички. Додавання екстракту кориці з концентрацією 0,5% до пастеризованого молока виявило антибактеріальну активність шляхом інгібування бактерій *S. aureus*, що обумовлено структурою її клітинної стінки з єдиною плазматичною мембраною, оточеною екстрактом кориці [25].



Висновки. Встановлено, що додавання екстракту кориці до пастеризованого молока інгібує розвиток бактерій впродовж зберігання продукту, при цьому якість продукту залишається стабільною. Додавання кориці підвищує біологічну цінність молока за рахунок натуральних компонентів, не змінюючи при цьому органолептичних характеристик продукту.

Список використаних джерел

1. Limbo S. [et al.]. Storage of pasteurized milk in clear PET bottles combined with light exposure on a retail display case: A possible strategy to define the shelf life and support a recyclable packaging. *Food chemistry*. 2020. Т. 329. Р. 127116.
2. Скропишева О. В. Сучасні методи визначення речовин, що запобігають мікробному псуванню молока. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2018. № 2. С. 150-154.
3. Cahyaningtyas A. A., Pudjiastuti W., Ramdhan I. Pengaruh suhu penyimpanan terhadap organoleptik, derajat keasaman dan pertumbuhan bakteri coliform pada susu pasteurisasi. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 2016. Т. 10(1). Р. 13–23.
4. Свиридов В. Ю., Якубчак О. М. Вплив умов отримання молока на його мікробіологічні показники. *Сучасні тенденції ветеринарної освіти і науки: тези доп. Всеукр. наук.-практ.конф. (9 жовтня 2019 р., Київ)*. Київ, 2019. С. 171.
5. Крижак Л. Виділення антоціанів (пігментів) методом оптимального підбору екстракції кліторії трійчастої (*Clitoria ternatea*). *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2022. Вип. 2. С. 24–31.
6. Мерзлов С. В., Шурчкова Ю. О. [та ін.]. Фізико-хімічні та органолептичні показники рослинного молока, яке використовують у готельно-ресторанних комплексах. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Харчові технології*. 2021. Т. 23, № 96. С. 28–32.
7. Крижак Л. *Clitoria ternatea* – джерело функціонального компоненту для збагачення йогуртів. *Вісник Хмельницького національного університету серія: технічні науки*. 2022. № 2(307) С. 182–187.
8. Калініна Г. П. Удосконалення технології молочних напоїв на основі використання цикорію: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Національний університет харчових технологій. Київ, 2007. 107 с.
9. Крижак Л. М. Удосконалення технології йогурту функціонального призначення з використанням ехінацеї пурпурової: дис. ... канд. тех. наук: 05.15.04. Одеса, 2016. 283 с.
10. Крижак Л. М. Перспективне використання плодів садової ірги (*Amelanchier medic*) у харчовій промисловості. *Науковий вісник*



Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання., 2022. Вип. 12, т. 3. С. 227–234.

11. Hanum Z. [et al.]. Kefir Susu Kambing dengan Penambahan Ekstrak Etanol Kembang Telang (*Clitoria ternatea*) Berpotensi Kuat sebagai Antioksidan dan Antibakteri. *Jurnal Veteriner*. 2021. T. 22. № 3.

12. Hastuti A. M. and Rustanti N. Pengaruh penambahan kayu manis terhadap aktivitas antioksidan dan kadar gula total minuman fungsional secang dan daun stevia sebagai alternatif minuman bagi penderita diabetes melitus tipe. *J. Nutr*. 2014. Coll. 3. P. 362–9.

13. Ulfah M., Irawan A. and Putra T. A. Aktivitas Antibakteri Ekstrak Aseton Teratai Putih (*Nymphaeae alba*) terhadap Bakteri *Streptococcus pyogenes* Tunas Med. 2020 J. 40–3.

14. Ulfah M. Aktivitas antibakteri ekstrak aseton dan etil asetat daun, batang dan rimpang teratai putih (*Nymphaeae Alba*) terhadap bakteri *staphylococcus aureus* dan *escherichia coli* antibacterial activity of acetone and ethyl acetat. *J. Farm. Sains dan Prakt*. 2019. Vol. 5. P. 52–60.

15. Novita Dewi Kristanti, Andi Warnaen and Dewi Ratih. Ayu daning titik kontrol kritis pada pengolahan susu pasteurisasi di koperasi unit desa (KUD) dau kabupaten malang sains peternak. 2017. Vol. 15. P. 1–7.

16. Hidayat I. R, Kusrahayu Mulyani S. Total bakteri asam laktat, nilai pH dan sifat organoleptik drink yoghurt dari susu sapi yang diperkaya dengan ekstrak buah mangga Anim. *Agric. J*. 2013. Vol. 2. P. 160–170.

17. Dianita Fitri G, Tistiana H. and Eka Radiati L. Review study on antibacterial activity of cherry leaf (*Muntingia calabura*) against *Staphylococcus* spp. and *Salmonella* spp. the most causing disease in livestock. *J. Ilmu-Ilmu Peternak*. 2017. Vol. 27. P. 63–73.

18. Reppi N. B., Mambo C., Wuisan J. Uji efek antibakteri ekstrak kulit kayu manis (*Cinnamomum burmannii*) terhadap *Escherichia coli* dan *Streptococcus pyogenes*. *eBiomedik*. 2016. T. 4, № 1.

19. Harianja Y. J. R. Pengaruh Penambahan Ekstrak Kulit Kayu Manis (*Cinnamomum burmanii Blume*) Sebagai Bahan Pengawet Alami untuk Meningkatkan Umur Simpan Minuman Kopi. Universitas Sumatera Utara, 2018.

20. Inna M., Atmania N., Prismasari S. Potential use of *Cinnamomum burmanii* essential oil-based chewing gum as oral antibiofilm agent. *Journal of dentistry Indonesia*. 2010. T. 17, № 3. P. 80–86.

21. SR Legacy Food Data Central. URL: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/171320/nutrients> (date of access 25.08.2024).

22. Harianja Y. J., Ginting S., Suhaidi I. Pengaruh Penambahan Ekstrak Kulit Kayu Manis (*Cinnamomum burmannii Blume*) Sebagai Bahan Pengawet Alami Untuk Meningkatkan Umur Simpan Minuman Kopi. *J. Rekayasa Pangan dan Pertan*. 2019. T. 7. P. 180–185.



23. ДСТУ 7357:2013 Молоко та молочні продукти. Методи мікробіологічного контролювання. Київ, 2013. 35 с. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_7357_2013.pdf (дата звернення 25.08.2024).

24. Hastuti A. M. and Rustanti N. Pengaruh Penambahan Kayu Manis Terhadap Aktivitas Antioksidan Dan Kadar Gula Total Minuman Fungsional Secang Dan Daun Stevia Sebagai Alternatif Minuman Bagi Penderita Diabetes Melitus Tipe 2. *J. Nutr. Coll.* 2014. Vol. 3. P. 362–369.

25. Ulfah M., Irawan A. and Putra T. A. Aktivitas Antibakteri Ekstrak Aseton Teratai Putih (*Nymphaeae alba*) terhadap Bakteri *Streptococcus pyogenes* Tunas. *Med. J.* 2020. P. 40–403.

Стаття надійшла до редакції 01.09.2024 р.

L. Kryzhak¹, H. Kalinina²

¹Vinnytsia Institute of Trade and Economics, DTEU

²Bila Tserkva National Agrarian University

PROLONGING THE STORAGE OF PASTEURIZED MILK WITH THE ADDITION OF CINNAMON EXTRACT (*CINNAMOMUM BURMANNII*)

Summary

Pasteurization is a popular method of disinfection of liquid food products, which is used to destroy pathogenic bacteria and reduce enzymatic activity. In this way, the shelf life of products is extended. Pasteurization methods employ continuous heat transfer mechanisms to destroy microorganisms in liquid foods such as milk. Traditional decontamination of microorganisms by heat treatment can change the taste, color and nutritional value of the product.

Commercial pasteurized milk, as a rule, in Ukraine has a relatively short shelf life of 5-7 days. To avoid this, it is necessary to add natural ingredients that should preserve the quality by inhibiting the growth of disease-causing bacteria, so that the shelf life of pasteurized milk can be extended. One such natural ingredient is cinnamon (*Cinnamomum burmannii*), which has antibacterial properties due to its metabolic components. The possibility of prolonging the storage of pasteurized milk by adding cinnamon extract was investigated in the paper.

Cinnamon extract in the amount of 0,5% was added to pasteurized milk. A randomized selection of storage terms was used – 4 periods (0 days, 3 days, 7 days, 14 days, 21 days) with four times repetition. Parameters measured included pH analysis, total bacterial contamination and antibacterial activity of cinnamon extract against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. It has been proven that cinnamon extract does not change the pH value and preserves the quality of pasteurized milk during storage. This is due to the content of antibacterial substances in cinnamon extract, which are able to suppress the growth of bacteria in such a way that the quality of milk remains stable for up to 3 weeks of storage.

Antibacterial tests were conducted with cinnamon extract. It was proven that the addition of cinnamon extract with a concentration of 0,5% to pasteurized milk showed antibacterial activity by inhibiting *S. aureus* bacteria, which is due to the structure of its



cell wall with a single plasma membrane surrounded by cinnamon extract. Therefore, according to the results of the study, it is proven that adding 0,5% cinnamon extract to pasteurized milk can extend the shelf life of pasteurized milk up to 28 days, but is not able to inhibit the growth of bacteria.

Key words: raw milk, pasteurization, cinnamon bark, cinnamon extract, antibacterial activity, storage.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-14

УДК 637.146:637.05

О. В. Дзюндзя, к.т.н

ORCID: 0000-0002-1996-7065

Херсонський державний аграрно-економічний університет

e-mail: dziundzia_o@ksaeu.kherson.ua, тел.: +380506673830

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ СИРКОВИХ ДЕСЕРТІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. Враховуючи постійні стресові ситуації у населення України виникають нові та прогресують хронічні захворювання перебіг яких можна полегшити вживанням харчових продуктів спеціального призначення. Відповідно існує необхідність в створенні харчових продуктів які могли задовольнити такі потреби.

Метою даної роботи було визначення основних показників якості та безпечності сиркових десертів із додаванням порошків репісу та айви та повною заміною цукру на цукрозамінник.

В ході експериментальних проробок було визначено оптимальну кількість плодово-ягідних порошків та спосіб введення до рецептури. За даними сенсорної оцінки зразки з додаванням нетрадиційних інгредієнтів мали кращі оцінки порівняно з контролем. За фізико-хімічними показниками дослідний зразок повністю відповідав вимогам нормативного документа (ДСТУ). Дослідження мікробіологічних показників вказало на відсутність патогенних, стафілококових мікроорганізмів і групи кишкової палички у досліджуваних зразках. Результати досліджень основних показників підтвердили якість та безпечність сиркових десертів з додаванням харчових порошків з репісу та айви.

Ключові слова: сиркові десерти, репіс, айва, харчові порошки, якість, безпека.

Постановка проблеми. Враховуючи постійні стресові ситуації у населення України виникають нові та прогресують хронічні захворювання перебіг яких можна полегшити вживанням харчових продуктів спеціального призначення. Кисломолочна продукція є гарним джерелом легкозасвоюваних білків, які містять незамінні амінокислоти та забезпечують організм життєво необхідними нутрієнтами [1]. Тому, поєднання молочного білку з рослинною сировиною багатою на вітамінно-мінеральні комплекси дає можливість збалансувати продукцію за хімічним складом збагативши її необхідними нутрієнтами.

Аналіз останніх досліджень. Щороку прослідковується збільшення асортименту продукції десертного призначення на основі молочної сировини. Не виключенням є і вітчизняний ринок, особливий сегмент якого займають структуровані молочні десерти.



Попит на продукцію здорового харчування сприяє збільшенню асортименту десертної кисломолочної продукції. Відповідно, висока затребуваність структурованих молочних десертів призводить до розширення асортименту в даній групі продуктів, до якої відносять пудинги, сирні маси, глазуровані сирки, збиті та м'які сирки, креми та суфле [2]. Для приготування сиркових десертів використовують різноманітні наповнювачі, структуроутворюючі, покращувачі смаку, тощо [3-8]. Особливе місце приділяється використанню плодово-ягідної сировини, яка додається у різних формах (порошки, цукати, джеми, підварки, кріопасті, тощо) [7-13]. Так, наприклад, за даними науковців [12], додавання до сиркових десертів «Бланманже» наноструктурованих дрібнодисперсних кріопаст із обліпихи, абрикосів, цитрусових та імбиру, дозволяє збільшити вміст БАР, а продукція має високі смакові властивості.

Цукати пастернаку в кількості 15 % та цукати з гарбуза в кількості 15 % підвищують біологічну цінність сиркових мас та позитивно впливають на щільність структури готового продукту забезпечуючи характерну пластичність виробів [13].

Дослідження проведені науковцями у США вказали, що зі збільшенням віку, споживачі надають перевагу більш традиційним смакам, характерних для певного регіону [15, 16]. Також, опитування респондентів вказало на відсутність сиркових виробів діабетичного спрямування, які могли б споживати споживачі різних вікових категорій [17].

Отже, проаналізувавши останні світові тенденції виявлено, що кисломолочна продукція, зокрема сиркові десерти, користується попитом. Відповідно, розроблення сиркових десертів спеціального призначення є актуальним питанням, зважаючи на потреби суспільства.

Формулювання мети статті. Метою даної роботи було визначення основних показників якості та безпечності розробленого сиркового десерту з додаванням порошків з репісу та айви із повною замінною цукру на цукрозамінник.

Основна частина. Отже, проаналізувавши асортимент кисломолочної продукції, що реалізується в торговельних мережах виявлено, що значним попитом користуються сиркові десерти. Основними інгредієнтами виробництва яких є м'який сир, вершки і фруктово-ягідний наповнювач. Поєднання компонентів з різним хімічним складом дозволяє отримати продукт із заданими властивостями, зокрема і для харчування спеціального призначення.

Вивчивши асортимент місцевої плодово-ягідної сировини перевага була надана ягодам репісу та плодам айви [10, 11], які містять своєму складі значну кількість БАР. Дані рослини є



поширеними не лише на півдні України, а по території всієї країни. Вони невибагливі у вирощуванні та характеризуються відмінними смаковими характеристиками. Незважаючи на значний вміст есенційних речовин репіс та айва не знайшли широкого використання в харчовій промисловості. Вважаємо, що ефективним способом покращення технологій сиркових десертів є вдосконалення рецептурного складу шляхом додавання функціональних інгредієнтів у вигляді харчових порошків, які можуть виконувати роль структуроутворюючих компонентів в технології сиркових виробів. В ході технологічного процесу відбувається відновлення порошків, що в свою чергу позитивно впливає на утворення структури сирків та підвищує біологічну цінність готового десерту.

Однак, важливе значення має не лише збалансування хімічного складу, а й сам процес створення безпечного і якісного продукту. Умовно технологічний процес виробництва десертів з м'якого сиру можна розділити на 3 етапи, які і визначають критичні точки:

- 1- Підготовка сировини до виробництва (ККТ 1);
- 2- Приготування кисломолочної основи (ККТ 2);
- 3- Поєднання рецептурних складових з метою отримання сиркового десерту (ККТ 3).

З цією метою до складу сиркової основи вводили плодово-ягідні порошки у різних пропорціях. Рецептурне співвідношення інгредієнтів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Рецептурне співвідношення досліджуваних зразків

Найменування сировини	Контроль	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
Сир кисломолочний	60%	60 %	60 %	60 %
Вершки, жирність 30%	20%	20%	20%	20%
Цукор	20%	-	-	-
Фруктоза	-	10 %	10 %	10 %
Порошок з репісу	-	3 %	7 %	5 %
Порошок з айви	-	7%	3 %	5 %

В ході експериментальних проробок було виявлено оптимальну кількість плодово-ягідних порошків та спосіб введення до рецептури, а саме, зразок № 3. Дані результати підтверджуються сенсорною оцінкою під час дегустації досліджуваних зразків (рис. 1).

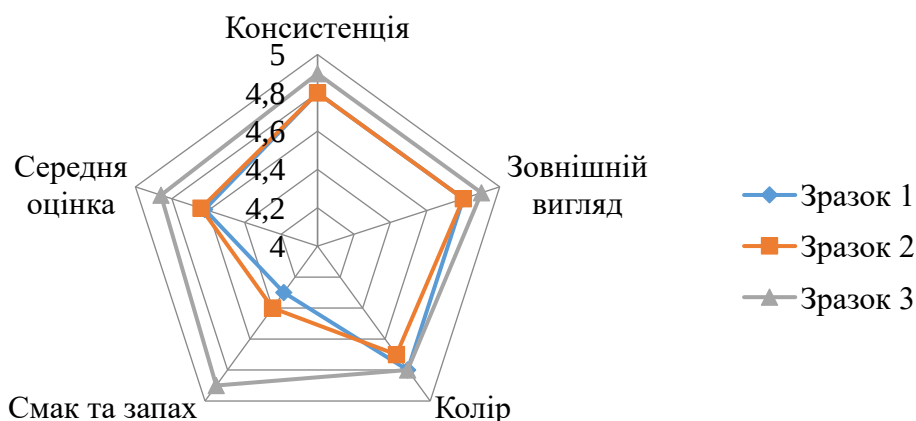


Рис. 1. Профілограма результатів сенсорної оцінки досліджуваних зразків

Наступним етапом дослідження було виявлення основних фізико-хімічних показників і порівняння їх з нормативними вимогами (табл. 2).

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники сиркових десертів

Назва показника	Розроблений десерт сирковий	Класичний сирковий десерт	Норма за ДСТУ 4503:2005
Масова частка жиру, %, не більше	8	9	8
Масова частка вологи, %, не більше ніж	67	78	75
Кислотність титрована, °Т, у межах	200	180	Від 150 до 220
Температура на момент випуску, °С, не більше ніж	5	6	6

Відповідно до отриманих результатів дослідний зразок не поступається контрольному. Однак в результаті дослідження було виявлено невідповідність встановленим вимогам стандарту у контрольному зразку. Дослідний зразок повністю відповідав вимогам нормативного документа (ДСТУ 4503:2005. Вироби сиркові).

В процесі ж зберігання у сиркових десертах відбуваються зміни пов'язані з розвитком мікрофлори та як наслідок підвищується

кислотність продукту, що в свою чергу впливає на якість і безпечність продукту.

Дослідження мікробіологічних показників вказало на відсутність патогенних, стафілококових мікроорганізмів і групи кишкової палички у досліджуваних зразках. Кількість молочнокислих бактерій відповідала вимогам ДСТУ.

На рис. 2. наведено зміни кислотності дослідного зразка №3 впродовж всього терміну зберігання.

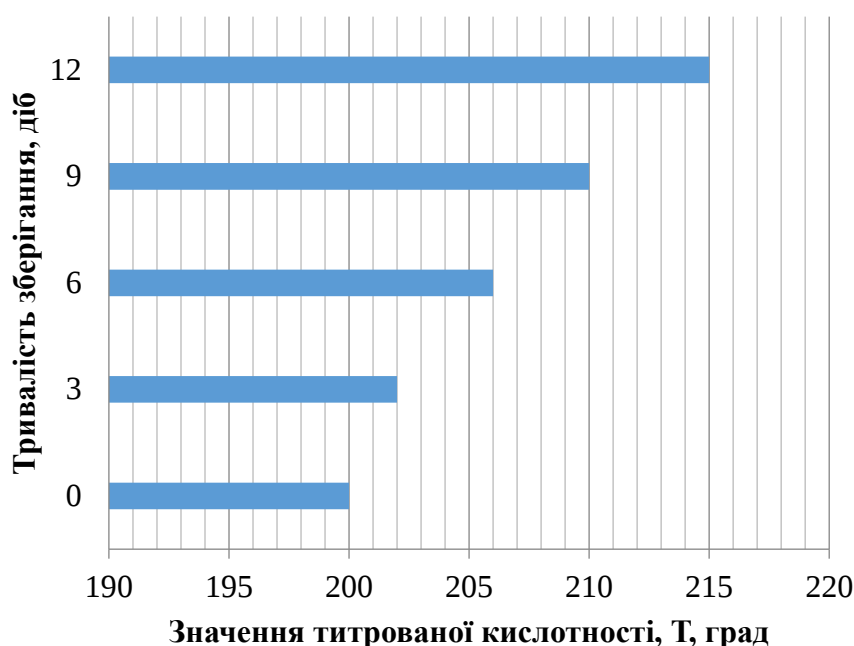


Рис. 2. Значення титрованої кислотності впродовж всього терміну зберігання

Відповідно до отриманих результатів, показники дослідного зразку впродовж всього терміну зберігання відповідали вимогам стандарту та не перевищували значення 220 °Т.

Висновок. Отже, за результатами проведених досліджень встановлено, що запропонована рецептура сиркового десерту з додаванням плодово-ягідної сировини має відмінні органолептичні характеристики і відповідає за показниками якості і безпечності вимогам ДСТУ 4503:2005 (Вироби сиркові). Перспективою подальшого дослідження є більш детальне вивчення хімічного складу продукту.

Список використаних джерел

1. Роль молочних продуктів у харчуванні. URL: <https://garmonija.ua/rol-molochnikh-produktihv-u-kharchuvannih> (дата звернення 03.08.2024).



2. Tsykhanovska I., Evlash V., Hrachova I. Improving the technology of sour milk cheese dessert "fantasy" with the addition of food additive "magnetofood". *Perspective directions for the development of science and practice*. 2020. Vol. 20. P. 99–103.
3. Gutierrez-Mendez N., Balderrama-Carmona A., Garcia-Sandoval S. E., Ramirez-Vigil P., Leal-Ramos M. Y., Garcia-Triana A. Proteolysis and rheological properties of cream cheese made with a plant-derived coagulant from *Solanum elaeagnifolium*. *Food*. 2019. Vol. 8(44). P. 11. <https://doi.org/10.3390/foods8020044>.
4. Brighenti M., Govindasamy-Lucey S., Jaeggi J. J., Johnson M. E., & Lucey J. A. Behavior of stabilizers in acidified solutions and their effect on the textural, rheological, and sensory properties of cream cheese. *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103. P. 2065–2076. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17487>.
5. Скрипніченко Д. М., Климентьева І. О. Встановлення граничного терміну зберігання сиркового десерту з додаванням меду та волоських горіхів *Modern science: problems and innovations : abstr. of I Intern. Scientific and Practical Conf., Stockholm (Sweden), 5–7 Apr. 2020. Stockholm, 2020*. P. 261–267.
6. Морозова Л. П. Розробка рецептури пасти сиркової з кмином. In *6th International Scientific and Practical Internet Conference: «Integration of Education, Science and Business in Modern Environment: Summer Debates»*. August 1-2, 2024. FOP Marenichenko VV, Dnipro, Ukraine. 2024. P. 211–214.
7. Назаренко Ю. В., Пуригін І. О., Болгова Н. В., Синенко Т. П. Розробка рецептурних композицій сирних паст з підвищеною біологічною цінністю. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2023. № 1. С. 65–74. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2023.1.7>.
8. Самілик М. М., Цирулик Р. В., Вороненко Н. І. Застосування морквяних порошків для збагачення молочних продуктів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2023. Вип.13(2). <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-2-2>.
9. Горач О. О., Черевко Н. О. Виробництво ягідної продукції в Україні. *Якість та безпекість товарів: [матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції, Луцьк (5 квітня 2024 року). Луцьк, 2024*. С. 163–164.
10. Dzyundzya O., Antonenko A., Brovenko T., Tolok G., Kryvoruchko M., Bozhko T., Antiushko D., Vezhlytseva S., Lebedenko T., Kovalenko N. Technology of craft confiture from non-traditional local raw materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 5, is. 11(119). P. 48–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265201>.



11. Дзюндзя О. В., Воєвода Н. В., Мальчевська К. В.. Визначення впливу ягідних компонентів на якісні характеристики бісквітного напівфабрикату. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2024. № 2. С. 124-130. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.2.13>.

12. Погарська В. В., Погарський О. С. (2023, January). Розробка нового покоління десертів–бланманже для оздоровчого харчування з використанням як інновації дрібнодисперсних плодоовочевих добавок. *Science and technology: problems, prospects and innovations: The 4 th International scientific and practical conference* (January 18-20, 2023). CPN Publishing Group, Osaka, Japan. 2023. P. 195.

13. Samilyk Maryna, Helikh Anna, Bolgova Natalia, Ryzhkova Taisia, Sirenko Igor and Fesyun Oleg. Substantiation of the Choice of Fillers for Cottage Cheese Masses. *EUREKA: Life Sciences*. 2020. № 2. P. 38–45. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2020.001210>.

14. Li B., Lin Y., Yu W., Wilson D. I., Young B. R. Application of mechanistic modelling and machine learning for cream cheese fermentation pH prediction. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 2021. № 96(1). P. 125–133. <https://doi.org/10.1002/jctb.6517>.

15. Hangartner A. *US trending flavors and ingredients in desserts and confections market report, 2021 [Market Report]*. Mintel.

16. Van den Heuvel E., Newbury A., Appleton K. M. The psychology of nutrition with advancing age: Focus on food neophobia. *Nutrients*. 2019. № 11(1). P. 151. <https://doi.org/10.3390/nu11010151>.

17. Pepito B. M. L. & Ross C. F. Identifying desirable attributes in dairy-rich breakfast and desserts for older adults. *Journal of Food Science*. 2024. № 89(8). P. 5065–5081. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17127>.

Стаття надійшла до редакції 16.09.2024 р.

O. Dzyundzya

Kherson State Agrarian and Economic University

RESEARCH OF THE QUALITY OF SPECIAL PURPOSE CHEESE DESSERTS

Summary

Given the constant stressful situations in the population of Ukraine, new and progressive chronic diseases occur, the course of which can be alleviated by the use of special food products. Analyzing literature data and the range of fermented milk products revealed the need to increase health products for different age categories. Accordingly, there is a need to create food products that could satisfy such needs.

The purpose of this work was to determine the main quality and safety indicators of cottage cheese desserts with the addition of rapis and quince powders and the complete replacement of sugar with a sweetener.

The subject of the research is defined as: food powders from rapeseed and quince, cheese desserts, quality and safety indicators.



During the experimental tests, the optimal amount of fruit and berry powders and the method of introduction into the recipe were determined. According to the sensory evaluation, the samples with the addition of non-traditional ingredients had better evaluations compared to the control. However, according to the results of the experiments, the sample with the addition of food powders in the proportion of 50:50, which replaced 10% of the recipe composition of sugar, was the best. According to the physical and chemical indicators, the experimental sample fully met the requirements of the regulatory document (DSTU). The values of the titrated acidity of cottage cheese desserts with the addition of food powders during the entire storage period (12 days) did not exceed the permissible standards and amounted to 215 °T. The study of microbiological indicators indicated the absence of pathogenic, staphylococcal microorganisms and the group of *Escherichia coli* in the studied samples. The results of studies of the main indicators confirmed the quality and safety of cottage cheese desserts with the addition of food powders from rapeseed and quince.

Key words: cottage cheese desserts, repast, quince, food powders, quality, safety.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-15

УДК 664.14:634.18

Я. І. Ілляшенко, аспір.,

ORCID: 0009-0008-2829-5185

М. М. Самілик, д.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-4826-2080

Сумський національний аграрний університет

E-mail: yannulia0911@gmail.com, тел.: +380992504381

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КИСЕЛІВ НА ОСНОВІ ПОРОШКУ З ГОРОБИНИ ЧОРНОПІДНОЇ

Анотація. Метою даного дослідження є визначення оптимальної кількості та співвідношення інгредієнтів для приготування киселю з дикорослої рослинної сировини. В ході дослідження визначено оптимальний вміст крохмалю та порошку горобини чорноплідної (*Aronia melanocarpa*) для приготування киселю. Проведено аналіз впливу різної концентрації порошку горобини чорноплідної на якість киселю, його органолептичні та фізико-хімічні властивості. Зокрема, детально розглянуто зміну в'язкості ягідних киселів.

Залежність в'язкості від напруги зсуву досліджували за допомогою ротаційного віскозиметра типу RN. Отримані результати показали, що при збільшенні концентрації порошку та крохмалю зростає в'язкість киселів. Зміна в'язкості пов'язана зі високим вмістом поліфенолів та інших біологічно активних речовин в порошку горобини чорноплідної (*Aronia melanocarpa*), які впливають на структурно-механічні властивості готового продукту.

Органолептичні показники киселів досліджували за допомогою сенсорного аналізу. Отримані результати показали, що зміна концентрації порошку горобини чорноплідної має значний вплив на дані показники.

Отримані дані свідчать про перспективність використання похідних продуктів горобини чорноплідної (*Aronia melanocarpa*) у виробництві натуральних киселів з покращеними реологічними властивостями.

Ключові слова: кисіль, горобина чорноплідна, *Aronia melanocarpa*, порошок, в'язкість.

Постановка проблеми. Киселі, як традиційні слов'янські напої та десерти, мають глибоке коріння в українській кулінарії та культурі. Киселі відомі своїми поживними властивостями та лікувальними якостями. Вони широко використовуються в різних культурах як смачний та корисний напій, що містить великий спектр біологічно активних сполук [1].

З кожним роком зростає інтерес до використання дикорослої рослинної сировини у виробництві харчових продуктів. Одним із перспективних інгредієнтів є горобина чорноплідна (*Aronia melanocarpa*), відома своїм високим вмістом поліфенолів, вітамінів та мінеральних речовин, які мають антиоксидантні, протизапальні та



інші корисні властивості [2]. Проте, незважаючи на значний інтерес до цієї теми, існує обмежена кількість наукових досліджень, які детально аналізують реологічні властивості киселів на основі порошку з горобини чорноплідної. Введення порошку з горобини чорноплідної у традиційні харчові продукти, такі як киселі, дозволить не тільки підвищити їх харчову цінність, але й покращити органолептичні та реологічні властивості продукту.

Актуальність дослідження реологічних властивостей киселів на основі порошку горобини чорноплідної полягає в потребі розробки нових технологій для виробництва натуральних продуктів з покращеними споживчими характеристиками. Реологічні властивості харчових продуктів, зокрема киселів, є важливим показником їх якості, оскільки впливають на текстуру, смакові характеристики та сприйняття продукту споживачами.

В'язкість киселів залежить від ряду факторів, таких як концентрація інгредієнтів, температура приготування та умови зберігання [3]. Тому, важливо дослідити, як введення порошку з горобини чорноплідної впливає на ці властивості. Розуміння впливу концентрації порошку горобини чорноплідної на в'язкість та інші фізико-хімічні властивості киселів є важливим аспектом для розробки нових рецептур і технологічних процесів, що відповідають сучасним вимогам споживачів та тенденціям здорового харчування.

Таким чином, проблема дослідження реологічних властивостей киселів на основі порошку горобини чорноплідної охоплює як наукові, так і практичні завдання. З наукового боку, це включає розробку і верифікацію моделей, що описують зміни в'язкості та інших характеристик в залежності від концентрації інгредієнтів. Практична складова полягає в удосконаленні технологій виробництва киселів і розширенні асортименту натуральних продуктів харчування, що відповідають високим стандартам якості та харчової цінності.

Отримані результати можуть бути використані для розробки нових рецептів киселів з покращеними властивостями, що сприятиме розширенню асортименту натуральних харчових продуктів, комплексній переробці дикорослої сировини та забезпеченню продовольчої безпеки.

Аналіз останніх досліджень. Використання рослинної сировини, зокрема дикорослої, в харчовій промисловості набуває все більшої популярності, що обумовлено пошуком натуральних інгредієнтів з високою біологічною цінністю. Це підкреслює тенденцію до використання натуральних рослинних інгредієнтів у харчовій промисловості через їх високу біологічну цінність і природне походження, що відповідає сучасним вимогам до здорового харчування і стійких виробничих практик [4].



Горобина чорноплідна (*Aronia melanocarpa*) є однією з таких рослин, яка привертає увагу науковців та виробників завдяки своїм унікальним властивостям. Численні дослідження підтверджують високий вміст антиоксидантів, поліфенолів та інших біологічно активних речовин у плодах чорноплідної горобини, що сприяє її використанню в функціональних харчових продуктах [5, 6]. Антиоксидантні властивості не тільки сприяють зниженню ризику розвитку серцево-судинних захворювань та онкології, але й мають протизапальні, антибактеріальні та антивірусні властивості [7].

Дослідження показують, що застосування нейронного аналізу зображень та електронної мікроскопії може ефективно оцінювати якість порошків з фруктів та овочів, зокрема чорноплідної горобини, що дозволяє краще розуміти їх структурні характеристики та однорідність частинок [8]. Інкапсуляція екстракту з чорноплідної горобини в подвійні емульсії демонструє високу стабільність та ефективність захисту поліфенолів під час зберігання та сублімаційного сушіння, що робить ці емульсії перспективними для використання в харчових продуктах, особливо для людей з дисфагією [9].

Застосування горобини чорноплідної та її похідних продуктів у харчовій промисловості є предметом багатьох досліджень. Особлива увага приділяється використанню порошку з горобини чорноплідної, який є зручним у зберіганні та використанні інгредієнтом. Зокрема, порошок горобини чорноплідної використовується у виробництві соків, джемів, сиропів, вин, чаїв, а також як інгредієнт для функціональних харчових продуктів. Дослідження показують, що порошок чорноплідної горобини може значно підвищити харчову цінність продуктів, збагачуючи їх поліфенолами та іншими біологічно активними речовинами [10, 11].

Виявлено, що додавання порошку горобини чорноплідної при виготовленні хліба призводить до зменшення загального вмісту крохмалю і білка, але збільшує вміст цукрів, мінералів (Mg, Ca, Cu) та жирів. Відзначено, що ненасичена олеїнова кислота була відновлена, в той час як вміст ненасичених лінолевої і ліноленової кислот зменшився [13]. Додавання вичавок горобини чорноплідної збільшило водопоглинання борошна при приготуванні хліба, але зменшило стабільність і міцність тіста, що призвело до зменшення об'єму хліба і збільшення його жорсткості. Хліб з вичавками мав меншу яскравість і жовтизну крихти, але вищий вміст мінералів, волокон, фенольних сполук та антиоксидантної активності. Сенсорні випробування показали, що оптимальна концентрація вичавок горобини чорноплідної не повинна перевищувати 3%, оскільки вищі концентрації погіршують споживчі властивості хліба [13].



Дослідження показали, що додавання чорноплідної горобини до йогуртів і молочних продуктів підвищує їх антиоксидантну активність і покращує смакові властивості. Йогурти, зокрема ті, що містять ферментований сік чорноплідної горобини, показали найбільше утворення молочної кислоти і менший рівень синерезису. Вміст фенолів і антиоксидантна активність йогуртів з ферментованим соком були підвищені [14].

Крім того, продукти збагачені похідними горобини чорноплідної мають високий попит серед споживачів, які дбають про своє здоров'я, завдяки їх натуральності та корисним властивостям. Дослідження демонструють ефективність чорноплідної аронії в профілактиці і ад'ювантній терапії гіперліпідемії, гіпертензії, діабету та запалень. Важливим є те, що різні функціональні компоненти чорноплідної аронії забезпечують багато шляхів для профілактики і лікування одних і тих же захворювань, що підвищує надійність ефективності вживання продуктів, збагачених похідними горобини чорноплідної для різних груп населення [15, 16].

Реологічні властивості харчових продуктів, особливо киселів, є важливим аспектом при їх розробці та оцінці якості. В'язкість є ключовим параметром, який впливає на текстуру та сприйняття продукту споживачами. Попередні дослідження свідчать про те, що додавання фруктових порошків або інших натуральних добавок часто призводить до підвищення в'язкості та покращення органолептичних характеристик готового продукту. Виявлено, що яблучний сік та клітковина значно змінюють реологічні характеристики і текстуру киселів. Додавання кислого соку знижує в'язкість крохмальних паст, тоді як лушпиння гречки збагачує продукт клітковиною і фенольними сполуками, що підвищує його поживну цінність. Результати показують, що збагачення киселів такими компонентами не тільки поліпшує їх харчову цінність, але і змінює технологічні властивості продукту, такі як твердість і колір [17]. Дослідження виявило, що киселі з екструдованими яблучними вичавками мають високу антиоксидантну активність і псевдопластичну реологічну поведінку [18].

Отже, попередні роботи вказують на перспективи для подальших досліджень у сфері використання поживних компонентів та побічних продуктів переробки, зокрема дикорослої рослинної сировини, у харчовій промисловості. У контексті дослідження реологічних властивостей, введення порошку з чорноплідної горобини до киселів є особливо актуальним та перспективним.

Мета і завдання дослідження. Метою даного дослідження є встановлення оптимальної кількості та співвідношення рецептурних інгредієнтів для приготування киселів на основі порошку з горобини



чорноплідної (*Aronia melanocarpa*) та дослідження реологічних властивостей готового продукту.

Для досягнення поставленої мети розроблено наступні завдання досліджень:

1. Дослідити вплив різної концентрації порошку горобини чорноплідної на реологічні властивості киселю, зокрема на його в'язкість.

2. Оцінити органолептичні характеристики киселю залежно від зміни концентрації порошку горобини чорноплідної.

3. Проаналізувати дані, отримані в ході дослідження та встановити оптимальне співвідношення між порошком горобини чорноплідної, крохмалем та водою для досягнення максимальної якості киселю.

Основна частина. До переліку інгредієнтів для приготування киселю увійшли: порошок з горобини чорноплідної, картопляний крохмаль та вода.

В Таблиці 1 наведено склад рецептурних компонентів для приготування різних зразків киселів.

Таблиця 1

Склад рецептурних компонентів для приготування різних зразків киселів

	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Порошок горобини чорноплідної (г)	10	20	20
Картопляний крохмаль (г)	1	1,5	2
Вода (г)	100	100	100

Порошок горобини чорноплідної попередньо готували шляхом осмотичної дегідратації [19] плодів *Aronia melanocarpa* з подальшим висушуванням в сушарці з ІЧ – випромінюванням, подрібненням на млині до заданої фракції та просіюванням через сита.

Осмотичну дегідратацію проводили в апараті дегідраторі при t 50°C протягом 60хв. Далі зневоднені плоди арононії відділяли від осмотованого розчину шляхом проціджування, викладали на листи та піддавали сушінню протягом 6 год при t 50°C в сушарці з ІЧ – випромінюванням. Отримані сухофрукти подрібнювали на лабораторному млині з подальшим просіюванням отриманого порошку через кілька латунних сит з діаметрами отворів 0,45 мм, 0,3 мм та 0,2 мм. Процес просіювання допомагає отримати рівномірний за текстурою порошок без домішок, що забезпечує в подальшому однорідність киселя. Дрібно подрібнений та просіяний

порошок легше розчиняється у воді, що сприяє рівномірному змішуванню інгредієнтів та запобігає утворенню грудок.

Крохмаль попередньо просіювали через латунне сито з діаметром отворів 0,3мм. Далі його змішували з порошком горобини чорноплідної, додавали підготовлену воду за $t\ 20^{\circ}\text{C}$, доводили суміш до $t\ 90-95^{\circ}\text{C}$ при постійному перемішуванні для уникнення грудок та отримання однорідної консистенції та охолоджували отриманий продукт до $t\ 20-25^{\circ}\text{C}$.

Сенсорний аналіз киселів з різною концентрацією порошку горобини чорноплідної та крохмалю наведено на рисунку 1.

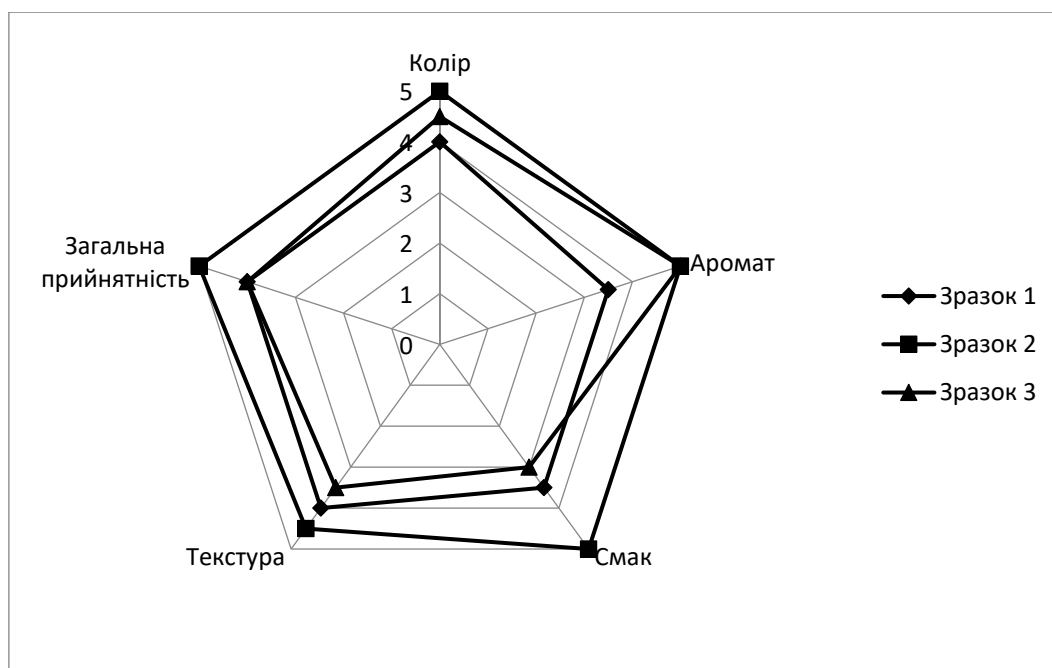


Рис. 1. Сенсорний аналіз киселів

Оцінка кожного зразка проводилася за п'ятьма основними органолептичними параметрами: колір, аромат, смак, текстура та загальна прийнятність.

Зразок 1 отримав порівняно нижчі оцінки за всіма параметрами, особливо за смаком (2 бали) та загальною прийнятністю (3 бали). Він мав менш виражені сенсорні якості в порівнянні з іншими зразками. Колір був тьмяний, смак та аромат не досить виражені, не насичені. Консистенція киселю була рідка.

Зразок 2 показав найвищі результати по всіх категоріях, зокрема отримав 5 балів за колір, аромат, текстуру та загальну прийнятність. Отриманий кисіль мав достатньо насичений колір, добре виражений кисло-солодкий смак та аромат, які відповідають горобині чорноплідній. Цукор при приготуванні не додавався, адже плоди горобини мають достатній вміст цукру та попередньо піддавалися

осмотичній дегідратації і цього достатньо для отримання в подальшому продуктів на основі порошку з гарними органолептичними показниками. Також, його консистенція та в'язкість порівняно з іншими зразками була найліпшою.

Сенсорні характеристики Зразку 3 були вищими, ніж у Зразка 1, але нижчими, ніж у Зразка 2. Кисіль приготований за даною рецептурою мав гарний зовнішній вигляд, смак та аромат. Проте, збільшення концентрації крохмалю призвело до надмірної густини.

Відповідно до отриманих результатів, оптимальним складом рецептурних компонентів для приготування киселю на основі порошку горобини чорноплідної (*Aronia melanocarpa*) визначено: 20 г порошку, 1,5г картопляного крохмалю та 100г води.

Дослідження реологічних властивостей, а саме динамічну зміну в'язкості киселів в залежності від напруги зсуву досліджували на ротаційному віскозиметрі типу РН. Підготовлені зразки перед дослідженням було охолоджено до $t\ 20^{\circ}\text{C}$. Для кожного зразка здійснювали серію вимірювань на ротаційному віскозиметрі, поступово збільшуючи напругу зсуву та реєстрували показники в'язкості при різних її значеннях.

Отримані дані, що відображають залежність в'язкості від напруги зсуву для кожного зразка наведено на рисунку 2.

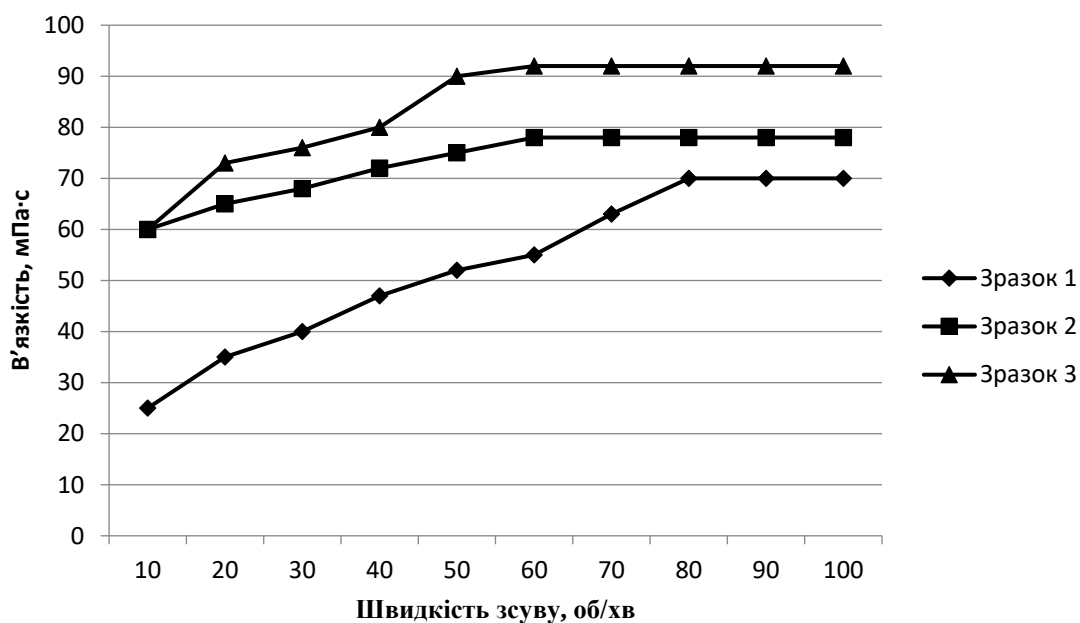


Рис. 2. Залежність в'язкості від напруги зсуву

В'язкість Зразка 1 починається з 25 мПа·с при швидкості 10 об/хв і зростає до 70 мПа·с при швидкості 80 об/хв. Після цього в'язкість стабілізується на рівні 70 мПа·с, навіть при подальшому збільшенні швидкості зсуву. Це свідчить про те, що зразок 1 має дуже низьку



початкову в'язкість, яка зростає поступово до рівня, що підходить для питних киселів. Зважаючи на те, що в'язкість залишається в межах 50-100 мПа·с, цей зразок є легким для пиття, але не оптимальним для такого напою, як кисіль.

Зразок 2 має середню в'язкість, яка показує плавний ріст від 60 мПа·с при швидкості 10 об/хв до 78 мПа·с при швидкості 60 об/хв. Після досягнення швидкості 60 об/хв в'язкість залишається стабільною. В'язкість цього зразка збільшується помірно, що є ознакою добре збалансованої текстури для питного продукту. В'язкість, що стабілізується на рівні 78 мПа·с, є ідеальною для забезпечення комфортного пиття, що робить цей зразок найліпшим.

Зразок 3 має значно вищу в'язкість, починаючи з 60 мПа·с при 10 об/хв і зростаючи до 92 мПа·с при швидкості 60 об/хв. Після цього в'язкість стабілізується на високому рівні 92 мПа·с. Дані свідчать про те, що цей зразок має значно більшу в'язкість, що зберігається незалежно від швидкості зсуву. Висока стабільна в'язкість може бути недоліком для питних киселів, оскільки така консистенція може ускладнювати процес пиття і робити продукт менш приємним для споживання.

Отже, для забезпечення комфортного пиття і відповідності стандартам питних киселів з помірною і стабільною в'язкістю, оптимальним співвідношенням інгредієнтів для приготування киселів на основі порошку горобини чорноплідної визначено Зразок 2.

Висновки. Досліджено, як зміна концентрації порошку горобини чорноплідної та крохмалю впливає на реологічні властивості киселю, зокрема на його в'язкість. Визначено, що збільшення концентрації цих інгредієнтів призводить до зростання в'язкості киселю, а також суттєво впливає на органолептичні властивості киселю.

Встановлено, що оптимальним співвідношенням рецептурних інгредієнтів для приготування питного киселю на основі порошку з горобини чорноплідної, який буде відповідати всім показникам якості є 40:3:200 (порошок, крохмаль та вода відповідно).

Отже, дослідження підтверджує важливість ретельного добору інгредієнтів у процесі приготування киселю та показує шляхи для подальших досліджень у цьому напрямку з метою оптимізації продукту з точки зору якості та ефективності виробництва. Отримані результати свідчать про перспективність використання порошку з горобини чорноплідної для виробництва натуральних питних киселів з покращеними реологічними властивостями.

Список використаних джерел

1. Учасники проєктів Вікімедіа. Кисіль - Вікіпедія. Вікіпедія, вільна енциклопедія. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Kissel> (дата звернення 02.09.2024).



2. Kadier T., Sun G., Huang Y. Chemical Composition of *Aronia melanocarpa*. *Chemistry of Natural Compounds*. 2021. Vol. 57(2). P. 364–366. <https://doi.org/10.1007/s10600-021-03358-2>.
3. Joyner H. S. Viscosity Measurements of Fluid Food Products. *Food Analysis Laboratory Manual*. 2017. P. 213–217. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44127-6_26.
4. Przybył K., Pawlak K., Murawa D., Borowska M., Wierzbicka A., Panasiewicz M., Drozd M. Artificial neural networks and electron microscopy to evaluate the quality of fruit and vegetable spray-dried powders. Case study: Strawberry powder. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. Vol. 155. P. 314–323. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.033>.
5. Taheri R., Connolly B.A., Brand M.H., Bolling B.W. Underutilized Chokeberry (*Aronia melanocarpa*, *Aronia arbutifolia*, *Aronia prunifolia*) Accessions Are Rich Sources of Anthocyanins, Flavonoids, Hydroxycinnamic Acids, and Proanthocyanidins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013. Vol. 61(36). P. 8581–8588. <https://doi.org/10.1021/jf402449q>.
6. Błaszczak W., Amarowicz R., Górecki A. R. Antioxidant capacity, phenolic composition and microbial stability of aronia juice subjected to high hydrostatic pressure processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2017. Vol. 39. P. 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.12.005>.
7. YILMAZ A. MIRACLE PLANT: BLACK CHOKEBERRY (*Aronia melanocarpa*). *MAS Journal of Applied Sciences*. 2021. Vol. 6(6). <https://doi.org/10.52520/masjaps.20>.
8. Ferreira J. P. S., Guerreiro J. R., Mendes P. M., Fortunato E., & Martins R. Neural Image Analysis and Electron Microscopy to Detect and Describe Selected Quality Factors of Fruit and Vegetable Spray-Dried Powders—Case Study: Chokeberry Powder. *Sensors*. 2019. № 19(20). C. 4413. <https://doi.org/10.3390/s19204413>.
9. Eisinaite V., Leskauskaitė D., Kulaitienė J., Pukalskas A., Jakstas V., Venskutonis P. R. Freeze drying of black chokeberry pomace extract-loaded double emulsions to obtain dispersible powders. *Journal of Food Science*. 2020. Vol. 85(3). P. 628–638. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14995>.
10. P. Denev [et al.]. Black Chokeberry (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliot) Fruits and Functional Drinks Differ Significantly in Their Chemical Composition and Antioxidant Activity *Journal of Chemistry*. 2018. Vol. 2018. P. 1–11. <https://doi.org/10.1155/2018/9574587>.
11. Кошак З., Покрашинська А. Порошок аронії як поліпшувач для макаронних продуктів. *Харчова наука та технологія*. 2020. Вип. 14(1). <https://doi.org/10.15673/fst.v14i1.1649>.



12. Filipović V. [et al.]. Nutritional attributes of wheat bread fortified with convectively dried chokeberry powder. *Acta Agriculturae Serbica*. 2021. Vol. 26(51). P. 55–62. <https://doi.org/10.5937/aaser2151055f>.
13. Cacak-Pietrzak G. [et al.]. Wheat bread enriched with black chokeberry (*Aronia melanocarpa* L.) pomace: Physicochemical properties and sensory evaluation. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(12). P. 6936. <https://doi.org/10.3390/app13126936>.
14. Plessas S. [et al.]. Assessment of the physicochemical, antioxidant, microbial, and sensory attributes of yogurt-style products enriched with probiotic-fermented *Aronia melanocarpa* berry juice. *Foods*. 2023. Vol. 13(1). P.111. <https://doi.org/10.3390/foods13010111>.
15. Sidor A., Drożdżyńska A., Gramza-Michałowska A. Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) and its products as potential health-promoting factors. An overview. *Trends in Food Science & Technology*. 2019. Vol. 89. P. 45–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.006>.
16. Gao N. [et al.]. Polyphenol components in black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) as clinically proven diseases control factors. An overview. *Food Science and Human Wellness*. 2023. <https://doi.org/10.26599/fshw.2022.9250096>.
17. Adamczyk G., Kulawik P., Bartkowiak-Broda I., Karwowska M., Nowak D. Enrichment of starch desserts with the addition of apple juice and buckwheat fiber. *Polymers*. 2023. Vol. 15(3). P. 717. <https://doi.org/10.3390/polym15030717>.
18. Adamczyk H., Chulyukin R., Świderek M., Wronka M., Kuźmiczek S., Steiner B., Kuceek K. Enrichment of Starch Desserts with the Addition of Apple Juice and Buckwheat Fiber. *Polymers*. 2023. Vol. 15, no. 3. P. 717. <https://doi.org/10.3390/polym15030717>.
19. Samilyk M., Helikh A., Bolgova N., Potapov V., Sabadash S. The application of osmotic dehydration in the technology of producing candied root vegetables. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3(11(105)). P. 13–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.204664>.

Стаття надійшла до редакції 17.09.2024 р.



Y. Iliashenko, M. Samilyk
Sumy National Agrarian University

STUDY OF THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF KISSELS BASED ON BLACK CHOKEBERRY POWDER

Summary

The aim of this study is to determine the optimal quantity and ratio of ingredients for preparing kissel from wild plant raw materials. During the study, the optimal content of starch and rowan powder (*Aronia melanocarpa*) for the preparation of kissel was determined. The impact of different concentrations of chokeberry powder on the quality of kissel, its organoleptic and physicochemical properties was analyzed. In particular, the change in viscosity of berry jelly is considered in detail.

The viscosity-shear stress relationship was examined with a rotational RN viscometer. The results showed that as the concentration of powder and starch increases, the viscosity of the kissel increases. The change in viscosity is associated with a high content of polyphenols and other biologically active substances in black chokeberry powder (*Aronia melanocarpa*), which affect the structural and mechanical properties of the finished product.

Organoleptic parameters of kissel were examined by sensory analysis. The obtained results showed that the change in the concentration of chokeberry powder has a significant impact on these indicators.

It is determined that the optimal ratio for the preparation of kissel is 40:3:200 g of black chokeberry powder, starch and water, respectively.

The obtained data indicate the promising use of derivatives of black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) products in the production of natural kissel with improved rheological properties.

Key words: kissel, black chokeberry, *Aronia melanocarpa*, powder, viscosity.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-16

УДК 661.188:634.747

Т. Ярмош, асп.,

ORCID: 0000-0001-7884-6792

Ф. Перцевой, д.т.н., проф.,

ORCID: 0000-0002-3111-5017

Сумський національний аграрний університет

e-mail: yarmoshtata@gmail.com, тел.: +380669720201

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЛІЦЕРИНУ ДЛЯ ЕКСТРАГУВАННЯ БАРВНИХ РЕЧОВИН З БУЗИНИ ЧОРНОЇ

Анотація. У роботі представлено результати дослідження ефективності екстракції пігментів з вичавок бузини за допомогою водних розчинів етанолу та гліцерину. Метою роботи було визначити оптимальні умови екстракції та порівняти ефективність двох різних розчинників. У дослідженні використовували вичавки плодів бузини чорної зібрані на стадії повного дозрівання у Сумській області 2023 року. Для подальшого дослідження вичавки бузини висушували при температурі $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ протягом 6 год. з наступним подрібненням до розміру часток 0,4 – 0,5 мм. В якості еталону порівняння було використано дистильовану воду. Подрібнені вичавки заливали розчинниками у співвідношенні 1:30. Ретельно розмішували та ставили в термостат. при температурі $60 \pm 0,5^\circ\text{C}$, тривалості 120 хв.

Отримані спектри екстрактів з використанням водно-етилового та водно-гліцеринових розчинів демонстрували максимальні піки в області довжини хвиль 485-520 нм, що відповідає синьо-зеленій частині видимого спектру. Характерні максимуми поглинання в цій області підтверджують наявність в екстрактах розгалужених систем кон'югованих зв'язків, характерних для хромофорних груп флавоноїдів та антоціанів. Встановлено, що максимальними концентраціями для вилучення барвних речовин є водно-етиловий розчин (50 % мас.) та водно-гліцериновий розчин (35 % мас). Вміст барвних речовин в екстрактах складав 23,2 г/кг у водно-етанольному розчині (50% мас.) та (22,6 г/кг) у водно-гліцериновому розчині. Збільшення концентрації розчинників від вказаних значень призводить до зниження ефективності екстракції, що пов'язано зі зміною фізико-хімічних властивостей середовища та взаємодії розчинника з матрицею зразка.

Ключові слова: натуральні барвники, барвні речовини, екстрагування, бузина чорна, вичавки, антоціани, гліцерин, етиловий спирт.

Постановка проблеми. Дослідження «зелених розчинників» для екстрагування рослинної сировини є надзвичайно актуальною темою в сучасному світі. Оскільки, багато традиційних розчинників є токсичними для організму людини та навколишнього середовища. Більшість країн світу вводять обмеження на використання токсичних розчинників та стимулюють перехід на більш безпечні. Дослідження нових, екологічно чистих розчинників для екстракції пігментів з рослинної сировини відкриває перспективи розробки інноваційних,



безпечних та екологічно доцільних технологій отримання натуральних барвників та інших біологічно активних сполук.

Постановка проблеми. У харчовій промисловості використовують велику кількість розчинників, таких як: вода, етанол, гексан, метанол, ізопропанол, пропіленгліколь, дихлорметан, етилацетат, бензол, толуол, хлороформ, циклогексан та інші. Всі вони в більшій чи меншій мірі покращують вилучення пігментів з рослинної сировини, оскільки ефективність розчинників залежить від природи розчинника, виду сировини та технологічних параметрів. Але більша частина органічних розчинників є небезпечними, токсичними, легкозаймистими, мутагенними, канцерогенними, а також чинять шкідливого впливу на навколишнє середовище [1, 8].

Найбільш поширеним розчинником для вилучення барвних пігментів з рослинної сировини є етанол та водно-етанольні розчини. Більшість досліджень у сфері екстрагування рослинної сировини спрямовано на пошуки ефективного та безпечного розчинника. Одним із перспективних розчинників є гліцерин, оскільки він є нетоксичний і менш пожежонебезпечний у порівнянні з етанолом. Тому існує доцільність дослідити ефективність екстрагування барвних речовин з вичавок бузини чорної з використанням гліцерину та порівняти його ефективність з етанолом та з дистильованою водою.

Аналіз останніх джерел. Розчинники – це леткі хімічні речовини, які здатні розчиняти інші речовини не змінюючи власної природи.

Етанол (E1510) – це безбарвна, летка, легкозаймиста рідина з характерним специфічним запахом. Згідно ДСТУ 4221:2003 належить до четвертого класу небезпечних речовин (токсична речовина з наркологічною дією). Отримують шляхом синтезу нафтової та газової продукції каталітичною гідратацією етилену або зброджуванням цукрової сировини (цукрова тростина, кукурудза, лігноцелюлозна маса) дріжджами з утворенням етанолу та вуглекислого газу. У харчовій промисловості етанол застосовують як консервант, розчинник, екстрагент та антисептик [2, 10].

Світове виробництво етанолу останнім часом зросло в основному через проблеми економічної та екологічної безпеки в усьому світі. Етанол має хороші характеристики горіння. Змішування етанолу з 95% бензину, дозволяє зменшити 90% викидів CO_2 і 60–80% SO_2 . В результаті знижується рівень парникових газів, які викликають зміну клімату, і підтримує екологічну безпеку [3]. В порівнянні з іншими розчинниками етанол має кращу розчинність завдяки своїй полярності; менш токсичний порівняно з бензолом чи толуолом; легко випаровується при кімнатній температурі. Однак, етанол має свої недоліки, такі як: легкозаймистість (потребує строгих правил безпеки), токсичність (викликає подразнення шкіри, слизових



оболонки й негативно впливає на центральну нервову систему) та висока леткість (втрата частини розчинних речовин).

Більшість досліджень у сфері екстрагування рослинної сировини спрямовано на пошуки ефективного та безпечного розчинника. Тому одним із перспективних розчинників є гліцерин, оскільки він є нетоксичний і менш пожежонебезпечний у порівнянні з етанолом. Висока в'язкість гліцерину та його похідних є основною проблемою при їх застосуванні в промислових процесах екстракції. Для подолання цього обмеження необхідно використовувати водно-гліцеринові розчини або суміші з іншими екологічно чистими розчинниками. Такий підхід не лише знизить в'язкість, а й дозволить регулювати селективність екстракції та чистоту кінцевого продукту [4].

Гліцерин (E422) — це в'язка, прозора рідина, без запаху, солодка на смак, нетоксична і нешкідлива для навколишнього середовища [5]. Завдяки наявності у молекулі гліцерину трьох гідроксильних груп, він належить до категорії багатоатомних спиртів. У харчовій продукції гліцерин застосовують переважно у кондитерських та хлібобулочних виробках для збереження вологості, поліпшення текстури, як підсолоджувач, стабілізатор та розчинник харчових ароматизаторів.

Гліцерин є основним компонентом тригліцеридів, який міститься в тваринному жирі та рослинній олії. Його отримують шляхом переестерифікації олій. Однак зі значним приростом екологічних технологій, таких як виробництво біодизеля, зростає і приріст виробництва гліцерину, оскільки гліцерин є побічним продуктом біодизеля. Згідно з дослідженнями, обсяг гліцерину збільшиться з 619,1 млн дол. США у 2020 році до 874,5 млн дол. США у 2026 році (CAGR 5,0%). При цьому світовий ринок гліцерину досягне 3,5 млрд дол. США у 2027 році (CAGR 4,0%). Щоб впоратися з пропозицією, що перевищує попит, останнім часом науковці почали активно досліджувати використання гліцерину у різних галузях [1]. Гліцерин та його похідні (1,3-діалкокси-2-пропаноли, 1,2,3-тріалкокси-пропани) розглядаються як перспективні "зелені" розчинники.

Вітчизняними дослідниками [6, 7] було запатентовано технологію екстракції барвних пігментів з вичавок чорної смородини та винограду з використанням гліцерину. Технологія передбачала подрібнення, заморожування (сповільнення осмотичної мікрофлори), приготування водно-гліцеринові суміші з масовою часткою гліцерину 50% та лимонної кислоти - 1%, змішування сировини з екстрагентом, екстрагування (температура (50 – 60)°C, тривалість 60 хв, гідромодуль 1:2). Подальше збільшення температури та тривалості призводить до руйнування пігментів. Збільшення розчинника до 50% дозволяє вдвічі збільшити вміст пігменту в екстракті. Отримані екстракти



використовували в оздоблюючих напівфабрикатах та желейних кондитерських виробів [9, 10, 11, 12]. Вихід барвника складав 1,25 г/л з виноградних вичавок та 0,53 г/л зі смородинової шкірки.

Для екстрагування барвних речовин з вичавок бузини чорної застосовують підкислені спиртові, водно-спиртові та підкислені водні розчини. Технологія полягає у змішування свіжих вичавок бузини [13] з водно-етанольним розчином та винною кислотою, екстрагування, фільтрування, концентрування. Концентрація барвних речовин отриманого барвника складала 30 г/дм³.

Для максимального вилучення соку з вичавок бузини чорної, використовують пектолітичні ферменти. Вони в свою чергу розривають зв'язки між молекулами пектину, що призводить до зменшення в'язкості соку та підвищення його виходу, а також сприяють кращому вилученню барвних речовин, ароматичних сполук та вітамінів. Технологія полягає [14] у обробленні свіжих вичавок бузини чорної пектолітичним ферментом, витримуванні, повторному пресуванні, фільтрації, випарювання під вакуумом. Концентрація барвних речовин отриманого барвника складала 27 г/дм³.

Закордонними вченими було встановлено, що гліцерин є екологічним та ефективним розчинником поліфенолів та пігментів із твердих рослинних відходів [17]. Гліцерин як розчинник поліфенолів був досліджений на рослинних харчових відходах, таких як: листя оливи, яблучна шкірка, лушпиння цибулі, вижимки червоного винограду, вижимки кави, шкірка баклажанів, шкірка картоплі, дубове лушпиння жолудів, рисові висівки, шкірка грейпфрута та перикарпій мангустина. Екстрагування проводили у різних умовах, а саме: на водяній бані, з використанням ультразвуку, настоювання з додаванням гідроксипропіл-бета-циклодекстрину, орбітальне струшування, попереднє гомогенізування та рідинна екстракція під тиском.

Дослідниками було встановлено [18], що водний розчин гліцерину з концентрацією 9,3% при температурі 80°C забезпечує на 10% вищий вихід поліфенолів порівняно з сумішшю вода/етанол при 24°C. Оптимальні умови екстракції біоактивних сполук з вичавок червоного винограду за допомогою водних розчинів гліцерину були досягнуті при концентрації гліцерину 20% (мас./об.). Додавання винної кислоти до 2% (мас./об.) не призвело до подальшого підвищення виходу загальних поліфенолів, флавоноїдів та пігментів, а також антиоксидантної активності екстрактів. Оптимальна концентрація гліцерину для екстракції фенольних сполук суттєво варіює залежно від типу рослинної сировини та умов процесу. Так, для рисових висівок оптимальною виявилася концентрація гліцерину в межах 16-19%, а для шкірки грейпфрута, попередньо обробленої електричними розрядами високої напруги, - близько 20% (мас./об.).



Це підкреслює необхідність індивідуального підходу до оптимізації умов екстракції для кожного конкретного типу сировини

Таким чином, використання гліцерину для екстрагування барвних речовин демонструє значний потенціал як розчинника. Оскільки, він не токсичний, не займистий, не леткий та доступний для промислового застосування. Однак, існує доцільність додаткових досліджень ефективності використання гліцерину при екстрагуванні барвних речовин з рослинної сировини.

Мета дослідження. визначити оптимальні умови екстракції барвних речовин з вичавок бузини та порівняти ефективність гліцерину з етиловим спиртом та дистильованою водою.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз літературних джерел показав, що є необхідність дослідити гліцерин, як розчинника для екстрагування барвних речовин з вичавок бузини. Оскільки більшість досліджень отримання барвника з бузини чорної спрямовані на використання етилового спирту та ферментативних препаратів.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження проводили у лабораторії кафедри технології харчування Сумському НАУ. У роботі було досліджено ефективність екстракції барвних речовин у підкислених водних (контрольний зразок), водно-етанольних та водно-гліцеринових сумішах. В якості джерела барвних речовин використовували висушені вичавки бузини чорної.

Таблиця 1

Органолептичні та фізико-хімічні показники бузини чорної визначали за стандартними методиками:

Сухі речовини (загальні)	ДСТУ 7804:2015
Сухі речовини (розчинні)	ДСТУ ISO 2173:2007
Титрована кислотність	ДСТУ 4957:2008
Масова концентрація фарбувальних речовин	ДСТУ 3845-99

Екстрагування проводили у термостаті при температурі $60 \pm 0,5^\circ\text{C}$, тривалістю 120 хв. Екстракти закривали у скляні щільно закручені банки, для уникнення випаровування рідини. Дослідження оптичної щільності визначали на КФК-2 (фотоелектричний колориметр) з довжиною хвилі 315-630 нм, робочою кюветою 10 мм. Обробку даних та побудову графічного матеріалу проводили у програмі OriginPro.

Виклад основного матеріалу дослідження. В дослідженні були використані вичавки плодів бузини чорної, які були зібрані на стадії повного дозрівання у регіоні Сумської області 2023 року.

З метою сповільнення осмотичної мікрофлори вичавки бузини чорної обробляли розчином лимонної кислоти та висушували при температурі $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ протягом 6 год з наступним подрібненням до розміру часток 0,4 – 0,5 мм.

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники плодів та вижимок бузини чорної

Назва зразка	Масова частка, %		
	Сухі речовини (загальні)	Сухі речовини (розчинні)	Титрована кислотність
Ягоди бузини (свіжі)	15,5±0,5	17,0±0,5	1,6±0,1
Вижимки бузини (свіжі)	30,8±0,5	19,0±0,5	1,4±0,1
Вижимки бузини (висушені)	85,0±0,5	-	-

Джерело: досліджено автором

У якості розчинників використовували водні, водно-етанольні та водно-гліцеринові підкислені розчини. Подрібнені висушені вичавки бузини чорної змішували з розчинником у співвідношенні 1:30, та лимонною кислотою у кількості 1% від загальної маси. Зразки ставили у термостат при температурі $60\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, тривалістю 120 хв. Після екстрагування, екстракт фільтрували та зберігали при температурі $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ та зберігали до початку визначення барвних речовин.



Рис. 1. Висушені вичавки бузини чорної

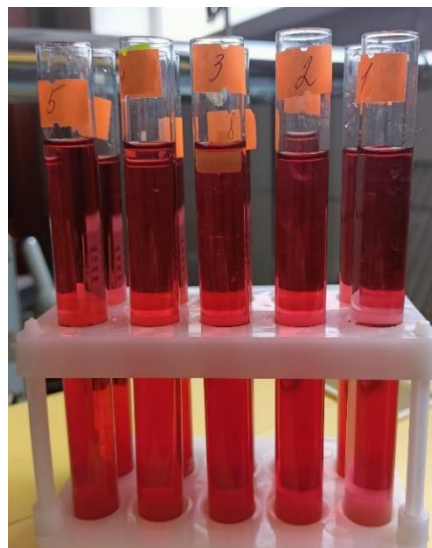


Рис. 2. Розведений екстракт з вичавок бузини

Для визначення барвних речовин сильно забарвлений екстракт з бузини чорної розводили у десятикратній кількості дистильованої води (рис. 2).

На рис. 3 - 10 відображено графіки залежність оптичної щільності від довжини хвилі для трьох зразків: зразок 1, контрольний (вода-вичавки бузини - лимонна кислота), зразок 2 (вода – вичавки бузини-

лимонна кислота – гліцерин) та зразок 3 (вода – вичавки бузини – лимонна кислота – етиловий спирт) в діапазоні довжини хвилі від 400 до 750 нм.

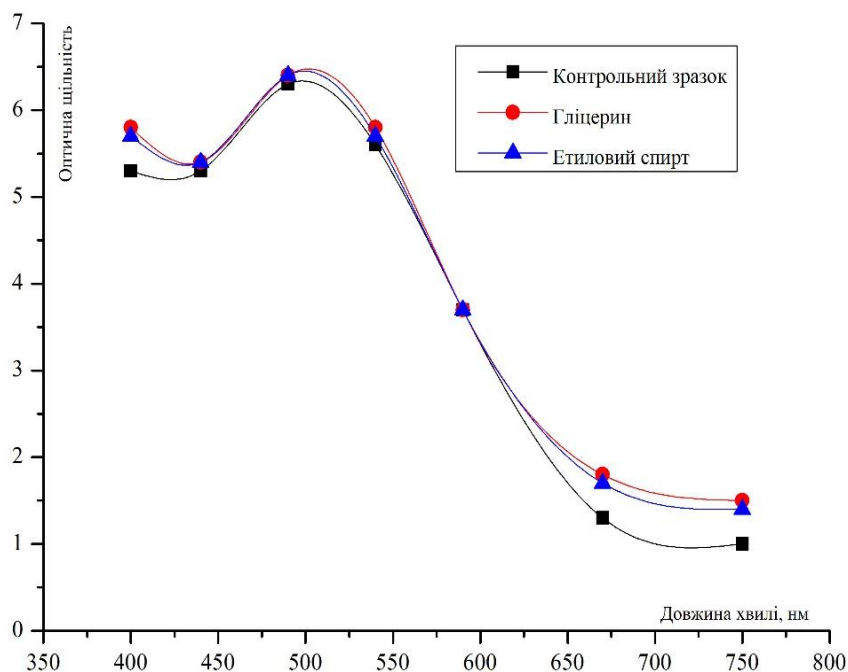


Рис. 3. Залежність оптичної густини екстрактів від концентрації розчинників: водно-етиловий розчин (10 % мас.), водно-гліцериновий розчин (10 % мас.) та дистильована вода (контроль)

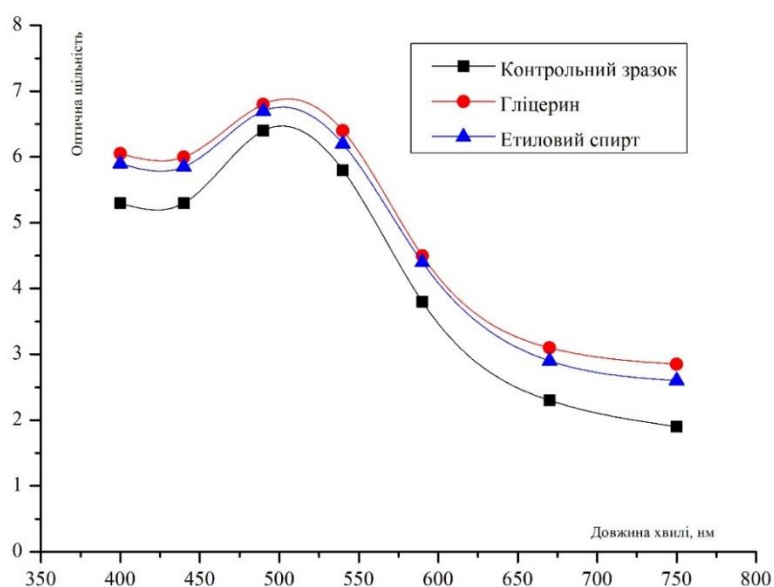


Рис. 4. Залежність оптичної густини екстрактів від концентрації розчинників: водно-етиловий розчин (15 % мас.), водно-гліцериновий розчин (15 % мас.) та дистильована вода (контроль)

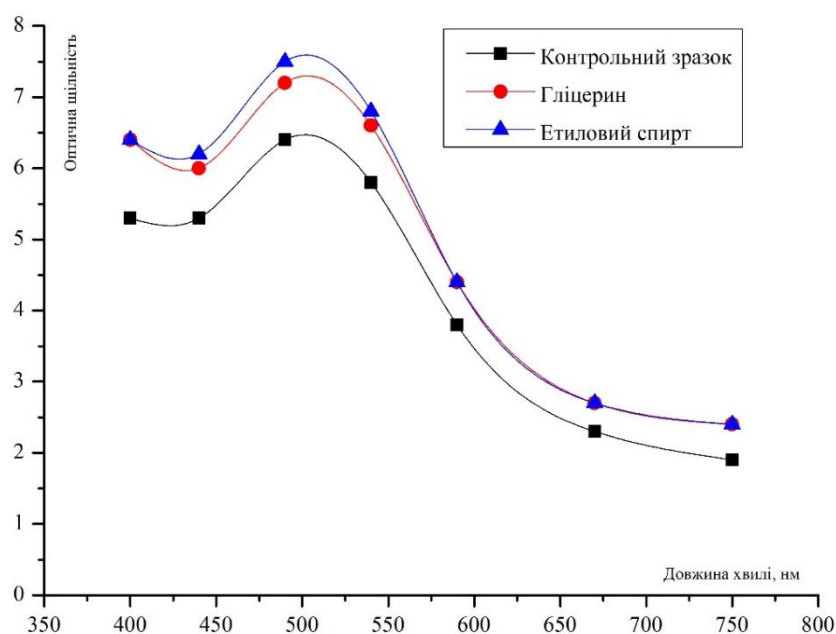


Рис. 5. Залежність оптичної густини екстрактів від концентрації розчинників: водно-етиловий розчин (35 % мас.), водно-гліцериновий розчин (35 % мас.) та дистильована вода (контроль)

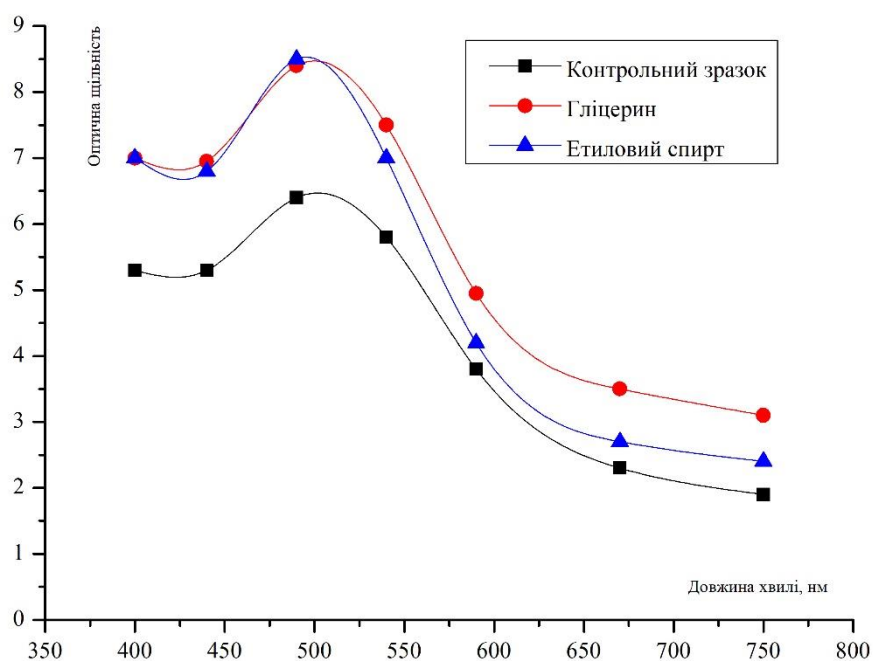


Рис. 6. Залежність оптичної густини екстрактів від концентрації розчинників: водно-етиловий розчин (50 % мас.), водно-гліцериновий розчин (50 % мас.) та дистильована вода (контроль)

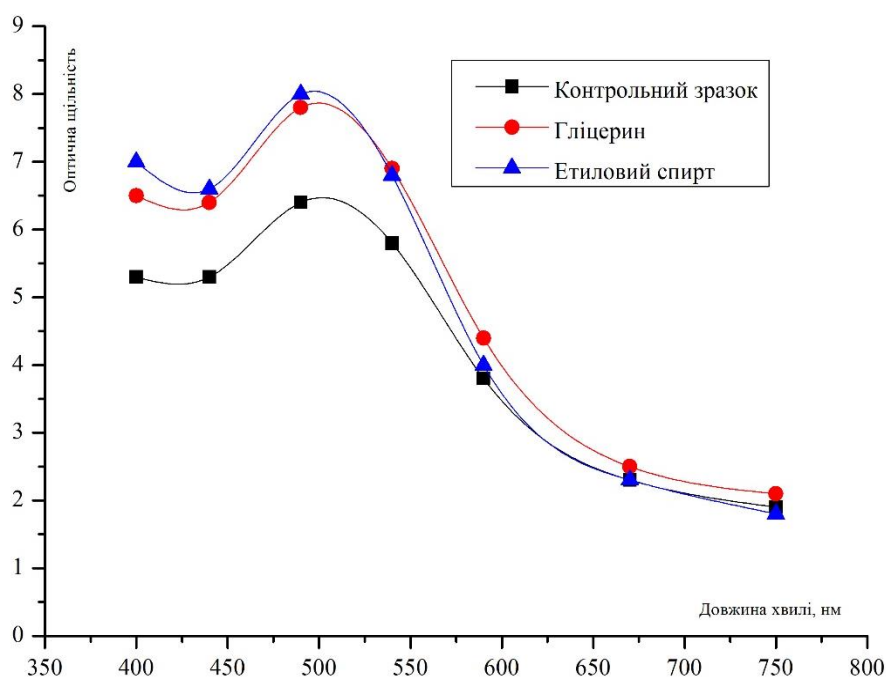


Рис. 7. Залежність оптичної густини екстрактів від концентрації розчинників: водно-етиловий розчин (65 % мас.), водно-гліцериновий розчин (65 % мас.) та дистильована вода (контроль)

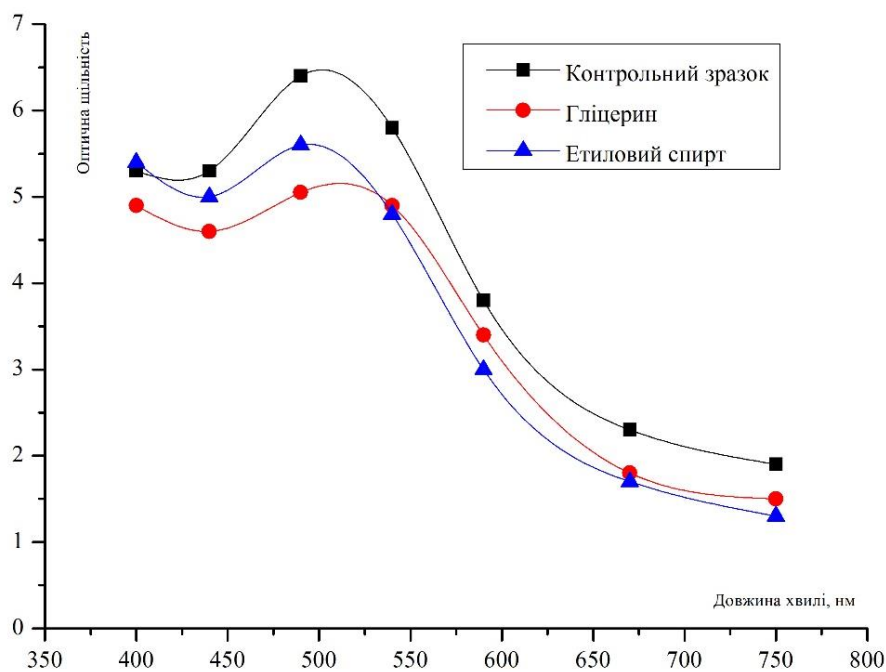


Рис. 8. Залежність оптичної густини екстрактів від концентрації розчинників: водно-етиловий розчин (85 % мас.), водно-гліцериновий розчин (85 % мас.) та дистильована вода (контроль)



Спектри поглинання екстрактів, отриманих з використанням водно-етилових, водно-гліцеринових та водних підкислених розчинів та гліцерину, демонструють максимуми піків в області 485-520 нм, що відповідає синьо-зеленій частині видимого спектра. Характерні максимуми поглинання в синьо-зеленій області спектра підтверджують наявність в екстрактах розгалужених систем кон'югованих зв'язків, характерних для хромофорних груп флавоноїдів та антоціанів. Це означає, що гліцерин та етиловий спирт володіють здатністю утворювати водневі зв'язки з гідроксильними групами флавоноїдів та антоціанів, що сприяє їх дифузії в розчин.

Проаналізуємо масову концентрацію барвних речовин у отриманих екстрактах, дані представлені у табл. 2.

Таблиця 2

Концентрація барвних речовин у перерахунку на сірчаноокислий кобальт, г/кг

Масова частка розчинника, %	Контрольний зразок	3 використанням гліцерину	3 використанням етилового спирту
Контрольний зразок	14,0	-	-
10		17,8 ± 0,4	16,5 ± 0,4
15		18,9 ± 0,4	19,3 ± 0,4
35		22,6 ± 0,4	22,9 ± 0,4
50		21,8 ± 0,4	23,2 ± 0,4
65		18,5 ± 0,4	19,8 ± 0,4
85		11,8 ± 0,4	12,9 ± 0,4

Джерело: досліджено та розроблено автором

Аналіз отриманих даних з табл. 2 свідчить про ефективність використання гліцерину та етилового спирту для екстракції барвних речовин. Встановлено, що максимальними концентраціями для вилучення барвних речовин є водно-етиловий розчин (50 % мас.) та водно-гліцериновий розчин (35 % мас). Вміст барвних речовин в екстрактах складав 23,2 г/кг у водно-етанольному розчині (50% мас.) та (22,6 г/кг) у водно-гліцериновому розчині. Збільшення концентрації розчинників від вказаних значень призводить до зниження ефективності екстракції, що пов'язано зі зміною фізико-хімічних властивостей середовища та взаємодії розчинника з матрицею зразка.

Отже, дослідження показали, що гліцерин є альтернативою заміни етиловому спирту для екстракції пігментів з вичавок бузини чорної. Незважаючи на дещо нижчий вихід барвних речовин водно-гліцеринового розчину у порівнянні з водно-етиловим розчином, гліцерин нетоксичний і менш пожежонебезпечний у порівнянні з



етанолом. Однак для екстрагування використання високих концентрації гліцерину є небажаним, оскільки висока в'язкість погіршує масообмін барвних речовин та випарювання вологи.

Список використаних джерел

1. Ying BEN Z., SAMSUDIN H., Firdaus YHAYA M. Glycerol: Its Properties, Polymer Synthesis, and Applications in Starch based Films. *European Polymer Journal*. 2022. P. 111377. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2022.111377>.
2. Hoang T.-D., Nghiem N. Recent Developments and Current Status of Commercial Production of Fuel Ethanol. *Fermentation*. 2021. Vol. 7, no. 4. P. 314. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040314>.
3. Alkohol: Definisi, Pengharaman, Metabolisme Dan Kegunaannya / L. Mohd Noor et al. *Ulum Islamiyyah*. 2018. Vol. 23. P. 97–114. <https://doi.org/10.33102/uij.vol23no0.54>.
4. Makris D. P., Lalas S. Glycerol and Glycerol-Based Deep Eutectic Mixtures as Emerging Green Solvents for Polyphenol Extraction: The Evidence So Far. *Molecules*. 2020. Vol. 25, no. 24. P. 5842. <https://doi.org/10.3390/molecules25245842>.
5. Optimization of a green extraction method for the recovery of I. Mourtzinou et al. *Journal of Food Science and Technology*. 2016. Vol. 53, no. 11. P. 3939–3947. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2381-y>.
6. Дишкантюк О. В., Москвічова О. М. Використання гліцерину для вдосконалення процесу екстракції антоціанів. *Харчова наука і технологія*. 2014. Вип. 27. С. 92–95.
7. Спосіб одержання антоціанового барвника: пат. Україна № u201413071 ; заявл. 05.12.2014; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9.
8. Ярмош Т. А. Характеристика інноваційних методів екстрагування пігментів з рослинної сировини. *Проблеми, пріоритети та перспективи розвитку науки, освіти і суспільства в XXI столітті: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції* (Полтава, 15 червня 2024 р.). Полтава: ЦФЕНД, 2024. с. 69–71.
9. Москвічова О. М. Вдосконалення процесу екстракції антоціанів. *Міжнар. наук.-прак. конф., присвяченої 40-річчю заснування факультету ХТГРТБ* (м. Полтава, 20-21 листопада 2014 р.). Полтава: ПУЕТ, 2015. С. 77–79.
10. Ярмош Т. А., Перцевой Ф. В. Перспективи використання вичавок у виробництві натуральних барвників. *Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів і аспірантів, присвяченої Міжнародному дню студента* (13-17 листопада 2023 р.).
11. Ярмош Т. А., Перцевой Ф. В. Перспективи використання ягід бузини чорної для виробництва барвників. *Матеріали науково-*



практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ (14-16 травня 2024 р.).

12. Ярмош Т. А., перцевой Ф. В. Перспективи застосування натуральних барвників рослинного походження. *III Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених* (Запоріжжя, 30 січня-24 лютого 2023 р.)

13. Коберник І., Стеценко Н. Обґрунтування доцільності використання ягід бузини чорної для виробництва натурального барвника. *Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (14–15 листопада 2019 р., м. Київ). 2019. С. 41–43.

14. Папченко В. Ю., Кузнецова Л. М. Узагальнення наукових основ одержання харчових барвників. *Вісник Національного технічного університету Харківський політехнічний інститут. Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів*. 2015. С. 65–68.

15. Стеценко Н. О. Барвник із соку бузини чорної як джерело функціональних інгредієнтів для виробництва продукції оздоровчого призначення. *Modern Advances in Organic Synthesis, Polymer Chemistry and Food Additives: book of abstract International scientific online conference*, Lviv, December 7-8 2021. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2021. P. 122

16. Обґрунтування доцільності використання ягід бузини чорної для виробництва натурального барвника. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/79026879-b095-4f0c-8578-e1886350025f/content> (дата звернення 11.09.2024).

17. Makris D. P., Lalas S. Glycerol and Glycerol-Based Deep Eutectic Mixtures as Emerging Green Solvents for Polyphenol Extraction: The Evidence So Far. *Molecules*. 2020. Vol. 25, no. 24. P. 5842. <https://doi.org/10.3390/molecules25245842>.

18. Huamán-Castilla N. L., Mariotti-Celis M. S., Martínez-Cifuentes M., Pérez-Correa J. R. Glycerol as alternative co-Solvent for water extraction of polyphenols from Carménère pomace: Hot pressurized liquid extraction and computational chemistry calculations. *Biomolecules*. 2020. Vol. 10. P. 474.

Стаття надійшла до редакції 18.09.2024 р.



T. Yarmosh, F. Pertsevoi
Sumy National Agrarian University

STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF GLYCERIN FOR THE EXTRACTION OF COLORING SUBSTANCES FROM BLACK ELDER

Summary

The paper presents the results of the study of the efficiency of extracting pigments from elderberry extracts using aqueous solutions of ethanol and glycerin. The aim of the work was to determine the optimal extraction conditions and compare the efficiency of two different solvents. In the study, the extracts of black elderberry fruits collected at the stage of full ripening in the Sumy region in 2023 were used. For further research, elderberry juice was dried at a temperature of $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ for 6 hours, followed by grinding to a particle size of 0.4-0.5 mm. Distilled water was used as a comparison standard. Crushed squeezes were filled with solvents in a ratio of 1:30. Extraction was carried out in a thermostat at a temperature of $60 \pm 0.5^\circ\text{C}$, lasting 120 minutes. The extracts were closed in glass tightly twisted jars to avoid liquid evaporation. To determine the coloring substances, the strongly colored extract from black elderberry was diluted in a tenfold amount of distilled water.

The obtained spectra of extracts using water-ethyl and water-glycerin solutions showed maximum peaks in the wavelength range of 485-520 nm, which corresponds to the blue-green part of the visible spectrum. Characteristic absorption maxima in this region confirm the presence in the extracts of branched systems of conjugated bonds, characteristic of chromophoric groups of flavonoids and anthocyanins. It was established that the maximum concentrations for extracting dyes are water-ethyl solution (50% by weight) and water-glycerol solution (35% by weight). The content of dyes in the extracts was 23.2 g/kg in a water-ethanol solution (50% by weight) and (22.6 g/kg) in a water-glycerol solution. An increase in the concentration of solvents from the specified values leads to a decrease in the extraction efficiency, which is associated with a change in the physical and chemical properties of the medium and the interaction of the solvent with the sample matrix.

Therefore, studies have shown that glycerin is an alternative to ethyl alcohol for the extraction of pigments from elderberry pomace. Despite the somewhat lower yield of dyes in the water-glycerin solution compared to the water-ethyl solution, glycerin is non-toxic and less flammable than ethanol. However, for extraction, the use of high concentrations of glycerol is undesirable, since high viscosity impairs the mass exchange of dyes and moisture evaporation.

Key words: natural dyes, dyes, extraction, black elderberry, extracts, anthocyanins, glycerin, ethyl alcohol.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-17

УДК 664.8.037.5:634.75

І. Л. Заморська, д.т.н.,

ORCID: 0000-0002-2767-1176

О. В. Смілянець

ORCID: 0009-0004-3410-6345

Уманський національний університет садівництва

e-mail: zil197608@gmail.com, тел.: +380474432212

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЧАСТКОВО ОСМОТИЧНО ДЕГІДРАТОВАНИХ ЗАМОРОЖЕНИХ ЯГІД СУНИЦІ ЗНИЖЕНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЦІННОСТІ

Анотація. У статті досліджено кріорезистентність, індекс висоти, втрати маси та вміст сухих розчинних речовин у частково-осмотично дегідратованих у 20 %-ному розчині сахарози заморожених ягодах суниці садової сорту Мальвіна за попереднього покриття у вигляді водного розчину пектину 1, 2, 3, 4, 5 %-ї концентрації.

Внаслідок дегідратації вміст сухих розчинних речовин в зразках свіжих ягід зріс на 1,0-2,7 % за мінімального у ягід з покриттям 5 %-ним розчином пектину. Кріорезистентність заморожених ягід коливалася в межах 78,3-97,0 %, індекс висоти – 76,2-86,3 % за максимальних значень у варіанті з покриттям ягід 5 %-ним розчином пектину. Втрати маси ягід суниці під час заморожування склали 1,2-2,3 %, а впродовж періоду зберігання – 1,3-3,2 % за максимуму у ягід без покриття.

Встановлена достовірна залежність кріорезистентності та індексу висоти заморожених ягід з покриттям від концентрації розчину пектину та тривалості зберігання замороженої продукції з максимумом значень досліджуваних показників у варіанті з покриттям 5-%-ним розчином пектину та поступовим їхнім зниженням до кінця періоду зберігання. Втрати маси ягід під час заморожування та впродовж зберігання в замороженому стані істотно залежали від наявності покриття та його концентрації, за максимальних втрат на контролі.

Нанесення харчового покриття з водного розчину пектину гальмувало приріст сухих розчинних речовин з розчину для дегідратації, сприяло підвищенню кріорезистентності на 0,4-1,7 % зі збереженням індексу висоти ягід на рівні 80,4-85 % та зниженню втрат маси на 0,8-1,9 %.

Ключові слова: осмотична дегідратація, заморожування, суниця, пектин, кріорезистентність, індекс висоти, втрати маси, сухі розчинні речовини.

Постановка проблеми. Впродовж останніх років спостерігається тенденція до підтримання здорового способу життя, в тому числі норм здорового харчування, що передбачають зниження кількості жирів в раціоні, підвищення рівня споживання харчових волокон, з акцентом на продукції з високою вітамінною та мінеральною цінністю [1]. Плодово-ягідна продукція за своїм хімічним складом повністю задовольняє вищезазначені вимоги, однак належить до категорії швидкопсувної, збереження якості якої можливе за рахунок її



заморожування. Традиційно заморожена плодово-ягідна продукція користується сталим попитом з боку населення, підприємств харчової промисловості та ресторанного господарства [2].

Суниця садова – високо цінується споживачами, що зумовлено значною вітамінною цінністю та антиоксидантними властивостями, гармонійним смаком і ароматом, збереження якості якої доцільно здійснювати в замороженому стані. Однак, якість замороженої суниці може суттєво погіршуватися під впливом низьких температур і супроводжуватися деградацією консистенції, зміною забарвлення та втратами поживних речовин [3]. Запобігти небажаним змінам якості можна за рахунок попередньої обробки сировини перед заморожуванням.

Аналіз останніх досліджень. Поширеним методом попередньої обробки сировини перед заморожуванням є осмотична дегідратація, що полягає у видаленні вологи з фруктів і овочів шляхом занурення у водний висококонцентрований розчин цукрів та/або солей [4]. Найбільш популярним осмотичним агентом для фруктів є сахароза [4, 5]. Доведено [6], що осмотична дегідратація фруктів сприяє зниженню показника активності води, що сповільнює реакції псування і підвищує мікробіологічну стабільність, підтримує високий вміст вологи зберігаючи колір, консистенцію і аромат максимально наближений до свіжої продукції. Осмотична дегідратація запропонована як ефективна обробка в комбінованих методах консервування, а також як попередня обробка для отримання свіжих, мінімально оброблених та збагачених продуктів [3].

Так, для ягід суниці доведена кріопротекторна дія осмотичних процесів по відношенню до необроблених заморожених ягід [7, 8]. Dermesonlouoglou E. K., Giannakourou M., Taoukis P. S. [3] наводять дані про покращену пружність впродовж тривалого періоду зберігання та меншу втрату вологи під час дефростації, зі збереженням цілісності тканин у осмотично дегідратованих ягід суниці порівняно з традиційно замороженими. Разом з тим науковці [9] вказують на значний приріст цукру в плодах і ягодах під час осмотичної дегідратації в розчинах сахарози.

Останнім часом споживачі віддають перевагу споживанню продуктів зниженої енергетичної цінності, що зумовлено проблемами ожиріння та надмірної ваги, які, в свою чергу, пов'язують з високим рівнем споживання цукру та його впливом на здоров'я людини [10]. Запобігти зростанню рівня цукру під час осмотичної дегідратації продукції можна шляхом нанесення їстівного покриття.

Впродовж останніх десятиріч значний науковий і практичний інтерес викликають бар'єрні технології та комбіновані методи для отримання дегідратованих продуктів найкращої якості [11]. На початкових етапах розвитку цього напрямку увага науковців була



зосереджена на використанні їстівного покриття та плівок, що покривають фрукти та овочі, для зменшення транспортування деяких розчинених речовин та газів, таких як волога, O_2 та CO_2 . Ці їстівні покриття застосовувалися не лише як бар'єр проти зовнішнього впливу, але і як харчові добавки, що мають антимікробні властивості, максимально зберігають натуральні властивості сировини [12]. На даному етапі широко використовуються харчові покриття на основі полісахаридів [13].

Застосування їстівних бар'єрів як покриття харчових продуктів досліджувалося і в процесах осмотичної дегідратації як засіб ефективного перешкоджання проникненню розчинених речовин без суттєвого негативного впливу на швидкість видалення води з продукції [14].

Так, дослідження масообміну під час осмотичної дегідратації заморожених ягід суниці з їстівними покриттями у вигляді водних розчинів низькометоксильованого пектину, картопляного крохмалю і суміші цих двох речовин у концентрації 4% показали, що ягоди покриті низькометоксильованим пектином і пектин-крохмальною сумішшю мали менші втрати води і маси, нижчий приріст сухих речовин, порівняно з непокритими ягодами [15].

Jalae F., Fazel, A., Fatemian H. та ін. [16] досліджуючи вплив покриттів, зокрема, низькометоксилпектинату, карбоксил-метилцелюлози та кукурудзяного крохмалю під час осмотичної дегідратації в розчині сахарози з концентраціями 50 % та 60 % на якість кілець з яблук довели покращення їхньої консистенції.

Аналогічні дані отримані Rodriguez A., Garcia M. A. та Camprone L. A. під час досліджень впливу альгінатно-хлоридно-кальцієвої бар'єрної системи з попередньою обробкою Ca^{2+} або без неї, нанесеної на палички з гарбуза з наступною осмотичною дегідратацією у розчинах сахарози та глюкози (40 та 60 %). Доведено, що гідрогелеві покриття створювали бар'єр для потрапляння розчинених речовин у продукт [17].

Найнижчий приріст сухих речовин показали і зразки ананаса попередньо покриті розчином альгінату натрію в концентрації 5,0 % та лактату кальцію (5 %) з наступною осмотичною дегідратацією у розчині сахарози з 60 % концентрації [18].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Розробка продуктів з низьким вмістом цукру та високими органолептичними властивостями дозволяє задовольнити вимоги сучасного споживача. Використання їстівного покриття на основі полісахаридів в якості бар'єру для запобігання приросту сахарози сприятиме зниженню енергетичної цінності заморожених плодів і ягід, розробленні нових продуктів функціонального призначення. Метою наших досліджень



було з'ясування впливу харчового покриття у вигляді водного розчину пектину різної концентрації перед частковою осмотичною дегідратацією на фізико-хімічні властивості заморожених ягід суниці.

Основна частина. Дослідження проводили з ягодами суниці сорту Мальвіна. Підготовку ягід до заморожування виконували згідно загальноприйнятих рекомендацій, що включали сортування, видалення чашолистків і плодоніжок, миття та підсушування.

Для виготовлення покриття пектин цитрусовий розчиняли в дистильованій воді отримуючи розчини з концентрацією 1, 2, 3, 4, 5 %. Підготовлені ягоди суниці занурювали у розчин, після чого підсушували для видалення його надлишку. Покриті ягоди витримували впродовж 30 хв. у водному розчині сахарози з концентрацією 20 %. Контролем в досліді були ягоди без покриття.

Частково осмотично зневоднені ягоди заморожували розсипом за температури мінус 30 ± 1 °C до досягнення всередині продукту температури мінус 18 ± 1 °C, фасували у пакети з поліетиленової плівки, призначеної для пакування харчових продуктів масою до 0,5 кг. Готову продукцію зберігали за температури мінус 18 ± 1 °C впродовж 6-ти місяців.

В ягодах визначали кріорезистентність за різницею маси заморожених і дефростованих ягід [16], індекс висоти – відношенням висоти дефростованих до висоти свіжих ягід, втрати маси – за різницею маси фіксованої проби до та після заморожування. Значення показників виражали у відсотках. Приріст сухих розчинних речовин розраховували за різницею їхнього вмісту до та після часткової осмотичної дегідrataції. Значення досліджуваних показників фіксували після заморожування, трьох та шести місяців зберігання. Повторність досліді трикратна.

Статистичний аналіз виконували за допомогою програми StatSoft STATISTICA 10.0, Enterprise Single User (2011).

В ході досліджень виявлено достовірний вплив покриття пектиновим розчином на приріст сухих розчинних речовин в ягодах внаслідок частково осмотичної дегідrataції (рис. 1).

Вміст сухих розчинних речовин в ягодах суниці сорту Мальвіна складав 13,8 %. Внаслідок часткової осмотичної дегідrataції, за усередненими даними, значення досліджуваного показника в ягодах підвищилися на 1,0-2,7 % за мінімального у ягід з покриттям 5 %-ним розчином пектину, що на 1,7 % нижче проти максимуму у контрольного варіанту.

Дослідженнями встановлено, що показник кріорезистентності частково осмотично дегідратованих заморожених ягід з покриттям достовірно залежав від концентрації розчину пектину та тривалості зберігання заморожених ягід (рис. 2).

Кріорезистентність досліджуваних зразків ягід складала 78,3-97,0 %, за максимальної у варіанті з покриттям ягід у 5-%-ному розчині пектину, що в 1,24 рази перевищувало значення контрольного зразка ягід та в 1,2 рази – варіанту з покриттям 1 %-ним розчином. Використання покриття сприяло підвищенню кріорезистентності ягід на 0,4-1,7 %. Слід відмітити підвищення значень показника кріорезистентності досліджуваних зразків заморожених ягід зі збільшенням концентрації пектинового розчину, що вказує на поліпшену здатність ягодами до утримання вологи за рахунок утвореної на їхній поверхні плівки.

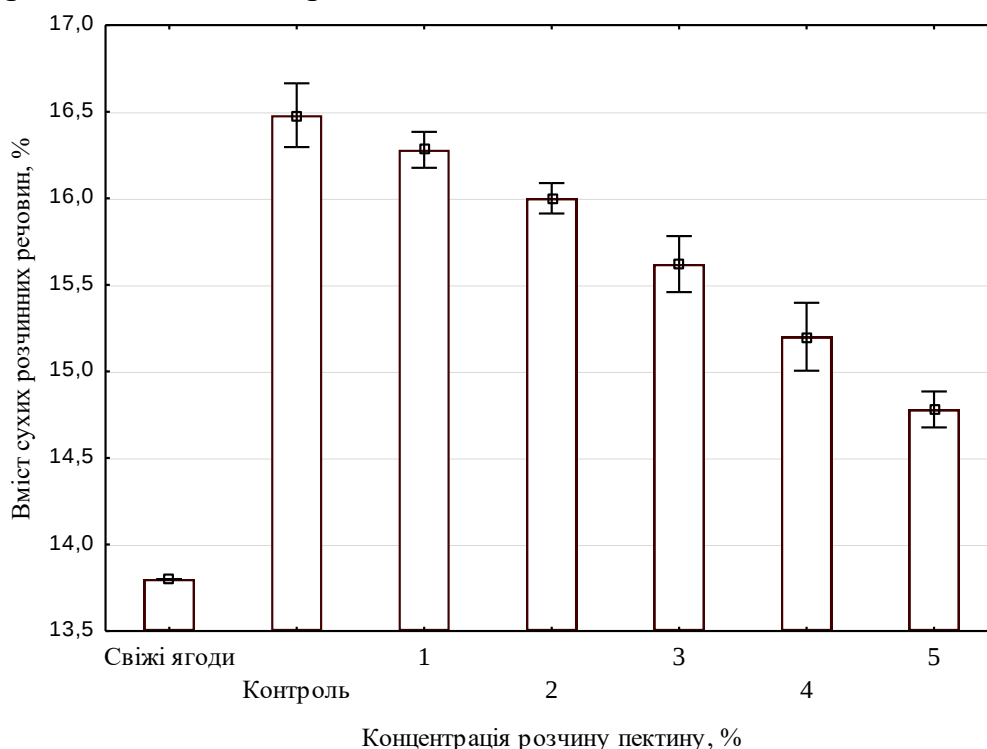


Рис. 1. Вміст сухих розчинних речовин в свіжих та частково осмотично дегідратованих ягодах суниці залежно від концентрації розчину пектину, %

Отримані усереднені дані значень досліджуваного показника заморожених ягід з харчовим покриттям залежно від тривалості зберігання вказують на коливання кріорезистентності в межах від 81,2 до 81,6 %, за мінімального значення показника через шість місяців зберігання. Зафіксоване перевищення кріорезистентності через три місяці зберігання складало 0,2 % та не було статистично достовірним.

Індекс висоти суниці за результатами дисперсійного аналізу достовірно залежав від концентрації розчину пектину та тривалості зберігання заморожених ягід (рис. 3).

За усередненими даними індекс висоти частково осмотично дегідратованих заморожених ягід суниці був на рівні 76,2-86,3 % за істотного перевищення його значення у продукції з покриттям розчином пектину 5 %-ної концентрації. Аналогічно до кріорезистентності спостерігалася тенденція до підвищення індексу висоти ягід зі збільшенням концентрації пектину в розчині, що свідчить про кращу збереженість форми ягід.

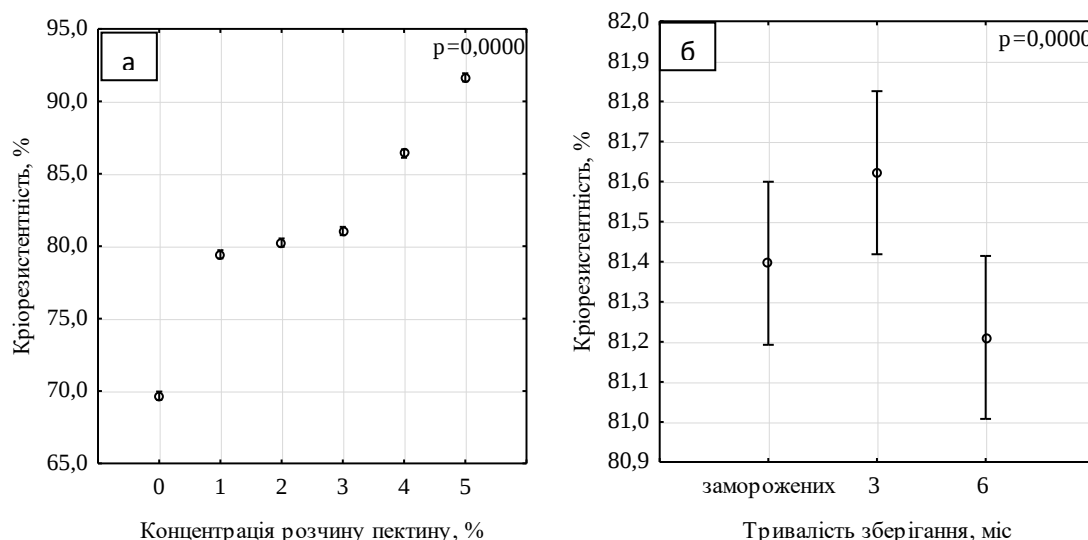


Рис. 2. Кріорезистентність частково осмотично дегідратованих заморожених ягід суниці залежно від: а – концентрації розчину пектину, б – тривалості зберігання, % (результати дисперсійного аналізу)

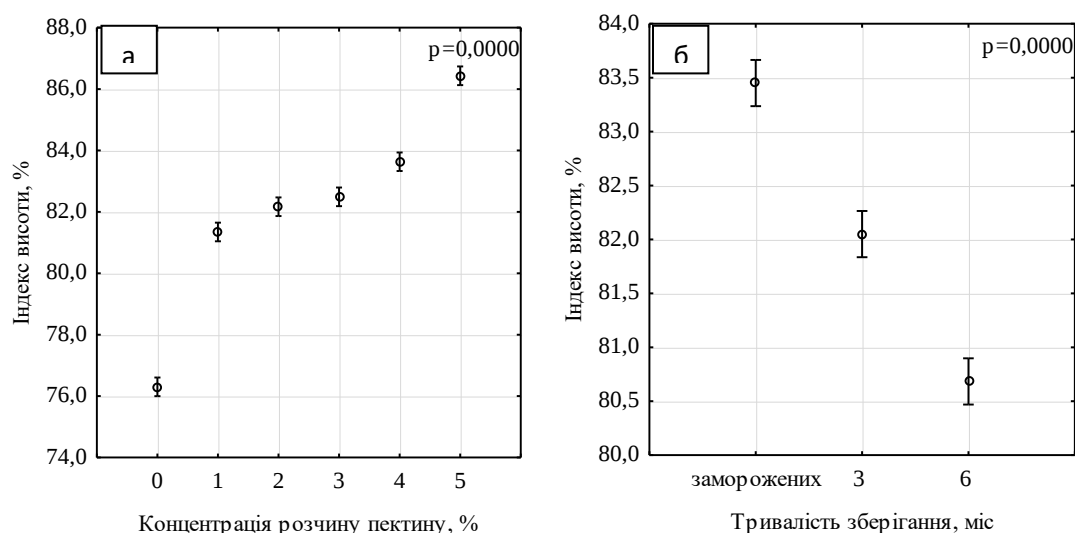


Рис. 3. Індекс висоти частково осмотично дегідратованих заморожених ягід суниці залежно від: а – концентрації розчину пектину, б – тривалості зберігання, % (результати дисперсійного аналізу)

В результаті досліджень достовірно доведена залежність індексу висоти заморожених ягід від тривалості їхнього зберігання. Так, впродовж трьох місяців зберігання індекс висоти ягід знизився за усередненими даними на 1,5 %, а за наступні три – на 1,25 %, що, очевидно, зумовлено поступовою зміною співвідношень фракцій вологи на користь осмотично поглиненої, що спричинило підвищення вологовиділення під час дефростації ягід та зміни їхньої форми.

Дослідження втрат маси частково осмотично дегідратованих заморожених ягід суниці одразу після заморожування і тривалого зберігання показали істотні відмінності між значеннями досліджуваного показника залежно від концентрації розчину пектину для попередньої обробки ягід (рис. 4).

Так, під час заморожування ягоди втратили від 1,2 до 2,3 % маси, за максимальних втрат – на контролі. Впродовж зберігання ягід в замороженому стані втрати маси дещо зростали і наприкінці періоду зберігання склали 1,3-3,2 % з максимумом у контрольному варіанті досліджу.

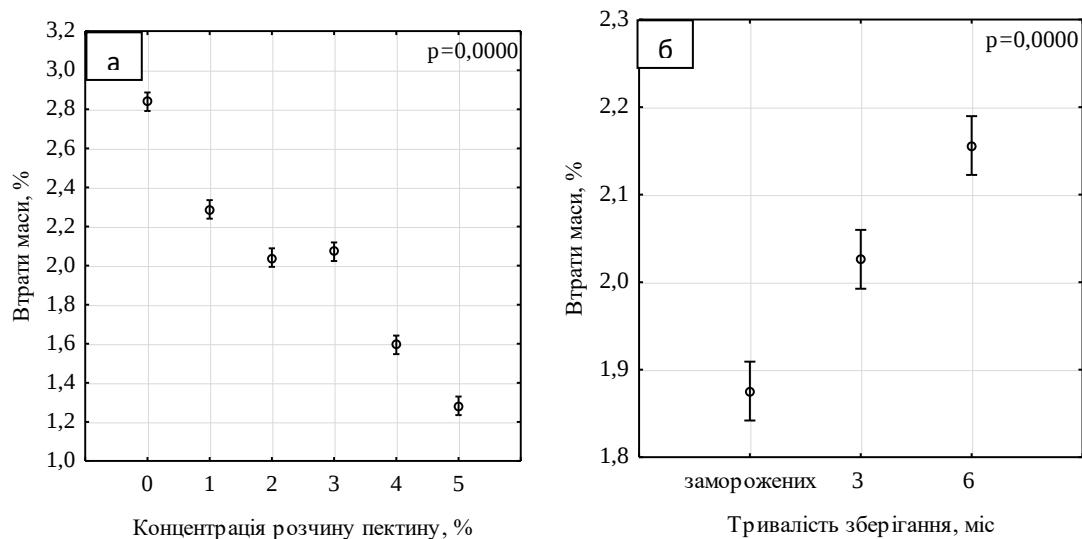


Рис. 4. Втрати маси частково осмотично дегідратованих заморожених ягід суниці залежно від: а – концентрації розчину мальтодекстрину, б – тривалості зберігання, % (результати дисперсійного аналізу)

Застосування пектинового розчину для попередньої обробки ягід суниці перед заморожуванням достовірно сприяло зниженню втрат маси на 0,1-1,1 % під час заморожування і на 0,8-1,9 % – впродовж тривалого зберігання.

Висновки. Отже, нанесення пектинового покриття на ягоди суниці перед частковою осмотичною дегідратацією гальмує приріст сухих розчинних речовин з розчину для дегідратації, сприяє підвищенню кріорезистентності ягід на 0,4-1,7 % зі збереженням індексу висоти на



рівні 80,4-85 % та зниженню втрат маси ягодами 0,8-1,9 % через шість місяців зберігання в замороженому стані.

Список використаних джерел

1. Kotliar Y, Topchiiy O, Pylypenko L, Pylypenko I, Sevastyanova E. Development of sanitary-safe poultry paste products with balanced fatty acid and vitamin composition. *East Europ J Enterprise Technol.* 2017. Vol. 3(11). P. 61-70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.103913>.
2. Jansrimanee S., Lertworasirikul S. Effect of sodium alginate coating on osmotic dehydration of pumpkin. *International Food Research Journal.* 2017. Vol. 24(5). P. 1903-1909.
3. Dermesonlouoglou E. K., Giannakourou M., Taoukis P. S. Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment with alternative osmotic solutes to the shelf life of frozen strawberry. *Food and Bioproducts Processing.* 2016. Vol. 99. P. 212-221. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.05.006>.
4. Ahmed I., Qazi I. M., Jamal S. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science & Emerging Technologies.* 2016. Vol. 34. P. 29-43. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.01.003>.
5. Chandra S., Kumari D. Recent Development in Osmotic Dehydration of Fruit and Vegetables: A Review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2015. Vol. 55. P. 552–561. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.664830>.
6. Lech. K , Michalska A., Wojdyło A., Nowicka P., Figiel A. The influence of physical properties of selected plant materials on the process of osmotic dehydration. *LWT- Food Science and Technology.* 2018. Vol. 91. P. 588-94. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.012>.
7. Blanda G., Cerretani L., Cardinali A., Barbieri S., Bendini A., Lercker G. Osmotic dehydrofreezing of strawberries: Polyphenolic content, volatile profile and consumer acceptance. *LWT-Food Science and Technology.* 2009. Vol. 42(1). P. 30-36. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.07.002>.
8. Kowalska H., Marzec A., Kowalska J., Ciurzyńska A., Czajkowska K., Cichowska J., ... Lenart A. Osmotic dehydration of Honeoye strawberries in solutions enriched with natural bioactive molecules. *LWT-Food Science and Technology.* 2017. Vol. 85. P. 500-505. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.044>.
9. Moraga G., Martínez-Navarrete N., Chiralt A. Compositional changes of strawberry due to dehydration, cold storage and freezing–thawing processes. *Journal of Food Processing and Preservation.* 2006. Vol. 30(4). P. 458-474. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2006.00079.x>.
10. Nowacka M., Fijalkowska A., Dadan M., Rybak K., Wiktor A. Witrowa-Rajchert D. Effect of ultrasound treatment during osmotic

dehydration on bioactive compounds of cranberries. *Ultrasonics*. 2018. Vol. 83. P. 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2017.06.022>.

11. Rodriguez A., García M.A., Campañone L.A. Experimental study of the application of edible coatings in pumpkin sticks submitted to osmotic dehydration. *Drying Technology: An International Journal*. 2016. Vol. 34(6). P. 635–44. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1069325>.

12. Dovale-Rosabala G., Casariego A., Forbes-Hernandez T., Garcia M. Effect of chitosan-olive oil emulsion coating on quality of tomatoes during storage at ambient conditions. *Journal of Berry Research*. 2015. Vol. 5. P. 207–18. <https://doi.org/10.3233/JBR-150103>.

13. Gamboa-Santos J., Vasco M. F., Campañone L. Diffusional analysis and textural properties of coated strawberries during osmotic dehydration treatment. *Journal of Berry Research*. 2021. Vol. 11(1). P. 151-169. <https://doi.org/10.3233/JBR-200554>.

14. Matuska M., Lenart A., Lazarides H. N. On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. *Journal of Food Engineering*. 2006. Vol. 72(1). P. 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.023>.

15. Ogonek A., Lenart A. Wpływ selektywnych powłok jadalnych na odwadnianie osmotyczne truskawek. *Żywność Nauka Technologia Jakość*. 2001. Vol. 8(3). P. 62-74.

16. Jalaei F., Fazeli A., Fatemian H., Tavakolipour H. Mass transfer coefficient and the characteristics of coated apples in osmotic dehydrating. *Food and Bioproducts Processing*. 2011. Vol. 89(4). P. 367-374. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.09.012>.

17. Rodriguez A., Garcia M. A., Campañone L. A. Experimental study of the application of edible coatings in pumpkin sticks submitted to osmotic dehydration. *Drying Technology*. 2016. Vol. 34(6). P. 635-644. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1069325>.

18. Singh C., Sharma H.K., Sarkar B.C. Influence of process conditions on the mass transfer during osmotic dehydration of coated pineapple samples. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2010. Vol. 34(4). P. 700-714. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00386.x>.

18. Gamboa-Santos J., Vasco M.F., Campañone L. Diffusional analysis and textural properties of coated strawberries during osmotic dehydration treatment. *Journal of Berry Research*. 2021. Vol.11(1). P. 151-169. <https://doi.org/10.3233/JBR-200554>.

19. Найченко В. М., Заморська І. Л. Технологія зберігання і переробки плодів та овочів: навч. посібник. Умань: видавець «Сочінський», 2010. 328 с.

20. Дослідницький практикум. Ч. 1: Методи дослідження плодовоовочевої та ягідної продукції / М. Є. Сердюк та ін.; Тавр. держ.



агротехнол. ун-т ім. Дмитра Моторного. Мелітополь: Люкс, 2020. 369 с.

Стаття надійшла до редакції 18.09.2024 р.

I. Zamorska, O. Smilyanets
Uman National University of Horticulture

**PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS OF QUALITY OF PARTIALLY
OSMOTICALLY DEHYDRATED FROZEN STRAWBERRIES
WITH REDUCED ENERGY VALUE**

Summary

The use of an edible coating based on polysaccharides as a barrier to prevent sucrose growth during partial osmotic dehydration leads to a decrease in the energy value of frozen fruits and berries.

In this study, the effect of a food coating in the form of an aqueous solution of pectin of different concentrations before partial osmotic dehydration on the physicochemical properties of frozen strawberries was investigated. The cryoresistance, height index, weight loss, and dry soluble solids content of partially osmotically dehydrated frozen garden strawberries of the Malvina variety were determined.

The pre-prepared strawberries were treated in a pectin solution with a concentration of 1, 2, 3, 4, 5 % before freezing, partially osmotically dehydrated for 30 min in an aqueous sucrose solution with a concentration of 20 %, frozen in bulk at a temperature of $\text{minus } 30 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, packed in plastic film bags weighing up to 0.5 kg and stored for 6 months at a temperature of $\text{minus } 18 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

As a result of dehydration, the content of dry soluble substances in fresh berry samples increased by 1.0-2.7 %, with the lowest in berries coated with a 5 % pectin solution. The cryoresistance of frozen berries ranged from 78.3-97.0 %, the height index - 76.2-86.3 % with maximum values in the variant with a 5% pectin solution. Weight losses of strawberries during freezing amounted to 1.2-2.3 %, and during the storage period reached a value of 3.2 % with a maximum in uncoated berries.

A reliable dependence of the cryoresistance of coated frozen berries on the concentration of pectin solution and the duration of storage of frozen products was established, with a maximum in the variant coated with a 5% pectin solution and a gradual decrease towards the end of the storage period. A similar dependence was proved in determining the height index of berries with a significantly higher value of the index in berries coated with a 5% pectin solution. There was a tendency to increase cryoresistance and berry height index with increasing concentration of pectin in the solution. The weight loss of berries during freezing and during storage in the frozen state significantly depended on the presence of the coating and its concentration, with maximum losses in the control.

The application of a food coating from an aqueous solution of pectin inhibited the growth of dry soluble substances from the dehydration solution, contributed to an increase in cryoresistance by 0.4-1.7% while maintaining the berry height index at 80.4-85% and reducing weight loss by 0.8-1.9%.

Key words: osmotic dehydration, freezing, strawberries, pectin, cryoresistance, height index, weight loss, dry soluble solids.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-18

УДК 664.66:613.22

О. О. Горач, д.т.н.

ORCID: 0000-0002-8737-5002

Херсонський державний аграрно-економічний університет

e-mail: olga_gorach@ukr.net, тел.: +380505379842

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ХАРЧОВОЇ ТА БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

Анотація. В статті проведено аналіз шляхів підвищення харчової та біологічної цінності хлібобулочних виробів та розглянуто основні способи їх реалізації. Відомо, що на сьогоднішній день розроблено технології виробництва хлібобулочних виробів для здорового харчування, профілактики та зниження ризику найпоширеніших видів захворювань: гіпертонії, атеросклерозу, ожиріння, а також для підвищення імунітету та захисту від негативного впливу навколишнього середовища.

Дослідження показує, що використання функціональних інгредієнтів під час приготування хлібобулочних виробів дозволяє збагатити продукт незамінними амінокислотами, ненасиченими жирними кислотами, мінеральними речовинами, харчовими волокнами та вітамінами, що дозволяє значно підвищити харчову та біологічну цінність. Результати експериментальних досліджень та економічні розрахунки свідчать про доцільність впровадження таких рецептур та технологій у виробництво.

Показано, що на сьогодні головним завданням вітчизняної харчової промисловості є розробка нових технологій для переробки сільськогосподарської сировини в високоякісні продукти, які сприяють профілактиці захворювань та компенсують дефіцит вітамінів, мікро- та макроелементів й інших корисних речовин.

Основними чинниками, які впливають на виробництво хлібобулочних виробів, є наявність сировини, енергозабезпечення, логістика, трудові ресурси. Однак, основною причиною падіння виробництва є втрата залишків виробничих потужностей та втрата врожаїв зернових, способів зберігання та переробки ускладнюються проблемами. Зміни логістичних шляхів та зниження доходності агропідприємств через блокування експорту зернових та падіння цін на внутрішньому ринку призвели до нестачі ринку добрив та засобів захисту рослин, що відобразилося на якості зернових поточного сезону.

Використання насіння льону та конопель у хлібобулочних виробках викликає особливий інтерес як цінний харчовий інгредієнт. Насіння конопель містить жирні кислоти омега-6 і омега-3, високоякісний білок, харчові волокна і мінерали, а також є важливим функціональним інгредієнтом з точки зору хімічного складу. Ляне насіння багате на вітаміни, мінерали, містить жирні кислоти омега-6 і омега-3. Основними речовинами ляного насіння є одні з найважливіших ферментів вуглеводного та енергетичного обміну, які забезпечують організм енергією і пластичними речовинами, а також метаболізм амінокислот з розгалуженим ланцюгом. Дефіцит вітаміну В1 призводить до серйозних розладів нервової, травної та серцево-судинної систем.



Результати проведених експериментальних досліджень з розробки технологій та рецептур безглютенових хлібобулочних виробів показали доцільність заміни традиційного глютенowego борошна на безглютенове. Застосування технологій та рецептур, спрямоване на поліпшення якості, підвищення біологічної та поживної цінності хлібобулочних виробів спеціального призначення.

Ключові слова: хлібобулочні вироби, харчування, якість, виробництво, технологія, харчові волокна, поживна та біологічна цінність.

Постановка проблеми. На сьогодні першочерговим завданням вітчизняної харчової промисловості є створення нових технологій, які дозволяють переробляти сільськогосподарську сировину у високоякісну продукцію, яка запобігає захворюванням і усуває дефіцит вітамінів, мікро- і макро елементів та інших корисних речовин.

На сьогоднішній день розроблено широкий асортимент різноманітних хлібобулочних виробів здорового харчування для профілактики та зниження ризику найпоширеніших видів захворювань: гіпертонії, атеросклерозу, ожиріння, а також для підвищення та захисту імунітету від негативного впливу навколишнього середовища. До рецептурного складу входять різноманітні злакові продукти, харчова волокниста сировина, пектини, вітаміни, мінерали, пророщена пшениця, жито, соєві, молочні та бобові продукти. Особливу групу складають продукти харчування лікувального призначення.

Аналіз останніх досліджень. Вченими ведуться активні дослідження та розробки з удосконалення продуктів харчування з покращеним хімічним складом, які мають високі функціональні та споживчі властивості. Даний напрямок досліджень представлено в роботах К.Г. Іоргачової, І.В. Попової, В.І. Ципріяна, Б.О. Голуб, Р.П. Щелакової, Н.В. Дуденко, Л.Ф. Павлоцької, А.М. Дорохович, В.В. Дорохович, J. Van Loo, P. Coussement, J.A. Brasil, Hala S. Sayed, M. Roberfroid та інших вчених [1-3].

Розробка продуктів харчування збагачених харчовими волокнами є одним з сучасних напрямів досліджень фахівців галузі. Такі продукти є важливою складовою щоденного раціону харчування сучасних людей в усьому світі, про що свідчить попит на продукти харчування даної категорії. Удосконалення існуючих технологій на основі введення інгредієнтів збагачених харчовими волокнами при створенні хлібобулочних виробів є актуальним, оскільки дана категорія продуктів становить лівову частину щоденного раціону харчування для різних вікових категорій.

Відомо, що хліб і хлібобулочні вироби традиційно займають особливе місце в структурі вітчизняного споживання, оскільки на ці

продукти в Україні припадає до 40% загальної калорійності харчового раціону населення. Власне, тому виробництво хліба та хлібобулочних виробів можна віднести до стратегічних галузей економіки нашої держави, оскільки від ефективності діяльності хлібопекарських підприємств багато в чому залежить не тільки продовольча, але й національна безпека країни [4-5].

Проте, введення в рецептуру функціональних інгредієнтів та продуктів збагаченими харчовими волокнами, складний технологічний процес і вимагає застосування різних технологічних прийомів та використання харчових добавок для забезпечення високої якості готових виробів. Тому метою статті є аналіз шляхів підвищення харчової та біологічної цінності хлібобулочних виробів.

Формулювання цілей статті. Метою статті є дослідження шляхів підвищення харчової та біологічної цінності хлібобулочних виробів.

Основна частина. Асортимент хлібобулочних виробів України представлений досить широко: хлібці, батони, багети та ін.; солодкої та солоної випічки з листового та здобного тіста: круасани, булочки, піца та ін.; борошняних кондитерських виробів: пряники, бісквіти, тістечка, булочки, кекси та подібні вироби. Основними чинниками, які впливають на виробництво хлібобулочних виробів є наявність сировини, енергозабезпечення, логістика, трудові ресурси.

На рис. 1 наведено структура ринку хлібобулочних виробів за видами відповідно до даних аналітиків компанії Pro-Consulting [6].

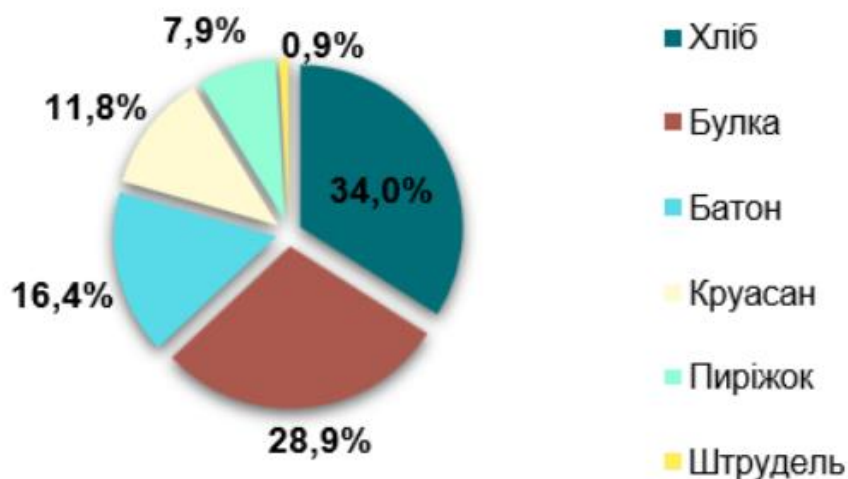


Рис. 1. Структура ринку хлібобулочних виробів за видами, %

Аналізуючи рис. 1, можна зробити висновок, що хліб є найпоширенішим продуктом на ринку, займає третину обсягу виробництва, більшість з цих товарів складає тостовий хліб, який зазвичай легший за звичайний. На другому місці знаходяться булки, які можуть слугувати альтернативою хлібу або використовуватися для приготування інших страв, таких як булки для хот-догів або бургерів. За свідченням учасників конференції «Хлібна Індустрія 2023», ринок



хлібобулочних виробів, відновлюється повільно. Для розвитку галузі необхідні суттєві зміни та підтримка з боку держави. Основними перешкодами для прогресу є брак великих грантів, високі ціни на сировину та нестача кадрів на підприємствах.

Однак основною причиною падіння виробництва є втрата залишків виробничих потужностей. Існуючі врожаї зернових потребують зберігання та переробки, що ускладнилося проблемами. Зміни логістичних шляхів та зниження дохідності агропідприємств через блокування експорту зернових та падіння цін на внутрішньому ринку призвели до нестачі добрив та засобів захисту рослин, що відобразилося на якості зернових поточного сезону. Найбільші гравці на ринку працюють вже тривалий час, їхнє виробництво охоплює практично весь асортимент хлібобулочних виробів: від солодких виробів, таких як торти та тістечка, до хлібу, булочок і гріссіні. Саме на їх обсягах та асортиментні варто орієнтуватися на ринку. Основні учасники представлені великими виробниками, які пропонують широкий асортимент хлібобулочних виробів. Також негативна динаміка імпорту, загальне падіння обсягів демонструє зниження ринкового попиту на товари високої вартості. Проте є позитивна тенденція до відновлення виробництва найбільшими імпортерами, основна частина яких відноситься до постачальників HoReKa, що в майбутньому може призвести до появи більш дешевих вітчизняних альтернатив. Але поряд з важливими проблемами виробництва актуальним є збагачення хлібобулочних виробів біологічно-активними речовинами. Тому, з цією метою особливого значення набуває розробка хлібобулочних виробів збагачених харчовими волокнами. Наприклад, зниження калорійності традиційних кондитерських борошняних виробів, допоможе знизити енергетичну складову щоденного раціону споживачів, а отже дозволять розширити асортимент виробів спеціального призначення та сприятимуть збереженню здоров'я населення [7, 8].

На основі борошна різних видів, з використання багатокomпонентних порошкоподібних напівфабрикатів і продуктів екструдуювання круп створені борошняні композитні суміші лікувально-профілактичного і дієтичного призначення. Вироби характеризуються високим вмістом заліза та інших речовин, що дозволяють збагатити рецептури хлібобулочних виробів [7]. Однак, пошук нових шляхів підвищення харчової та біологічної цінності хлібобулочних виробів потребує пошуку нових наукових досліджень та глибокого їх вивчення для різних категорій споживачів, враховуючи їх особливі потреби.

Досвід вищезазначених досліджень показує, що перспективними джерелами для збагачення хлібобулочних виробів є борошно з



нетрадиційної рослинної сировини: із паростків сої, тритікале, гороху. Також відомі способи збагачення печива та тістечок цикорлатом, пластівцями із зародків пшениці, подрібненими ядрами та білковим ізолятом із соняшника, полісолодовим екстрактом, кунжутним, лляним та конопляним шротом, а також білковим концентратом з гірчиці [9].

Додавання солодового борошна сприяє накопиченню мальтози та глюкози, що дозволяє зменшити вміст цукру в здобному печиві, сприяє зменшенню його калорійності, підвищенню харчової цінності та поліпшенню органолептичних властивостей. Введення до складу при приготуванні біологічно активних харчових добавок підвищує біологічну цінність продукту [10].

Перспективною сировиною для створення продуктів харчування підвищеної біологічної та харчовою цінності є конопляний та лляний шрот, що в якості харчової добавки вже давно і успішно використовується для виробництва хлібобулочних виробів та одержується після екстракції олії з насіння. Донедавна борошно з коноплі та висівки, грубі залишки насіння після екстрагування олії, були призначені для годівлі худоби. Однак сьогодні, конопляне борошно широко використовується в харчуванні людини і відоме своїми високоякісними хімічними та харчовими властивостями.

За своїм хімічним складом насіння коноплі є важливим функціональним інгредієнтом, так як містить омега-6 та омега-3 жирні кислоти, високоякісний протеїн, харчові волокна і мінеральні речовини. В табл. 1-5 представлено харчова цінність насіння конопель та наявність корисних речовин.

Таблиця 1

Вміст основних речовин в 100 г конопляного насіння

Найменування	Кількість
Вода	4,96 г
Білки	31,56 г
Жири	48,75 г
Зола	6,06 г
Вуглеводи	8,67 г
Клітковина, загальна дієтична	4 г
Сахарів, всього	1,5 г
Сахароза	0,85 г
Глюкоза (декстроза)	0,2 г
Фруктоза	0,31 г
Лактоза	0,07 г
Мальтоза	0,07 г



Таблиця 2

Вміст вітамінів та вітаміноподібних речовин в 100 г конопляного насіння

Найменування	Кількість
Вітамін С, Аскорбінова кислота	0,5 мг
Вітамін В1, Тіамін	1,275 мг
Вітамін В2, Рібофлавін	0,285 мг
Вітамін В3, РР, Ніацин	9,2 мг
Вітамін В6, В6, Піридок	110 мкг
Вітамін А	1 мкг
Каротин, бета	7 мкг
Вітамін Е, Альфа-токоферол	0,8 мг

Таблиця 3

Вміст мінералів в 100 г конопляного насіння

Найменування	Кількість
Кальцій, Са	70 мг
Залізо, Fe	7,95 мг
Магній, Mg	700 мг
Фосфор, Р	1650 мг
Калій, До	1200 мг
Натрій, Na	5 мг
Цинк, Zn	9,9 мг
Мідь, Cu	6 мг
Марганець, Mn	7,6 мг

Таблиця 4

Вміст жирних кислот в 100 г конопляного насіння

Найменування	Кількість
Насичені, всього	4,6 г
Пальмітинова	2,866 г
Стеаринова	1,244 г
Арахідова	0,312 г
Бегенова	0,121 г
Лігноцеринова	0,056 г
Мононенасичені	5,4 г
Олеиновая (омега-9)	5,276 г
Эйкозеновая (омега-9)	0,124 г
Поліненасичені	38,1 г
Ліолева (омега-6)	27,459 г
Альфа-ліноленова (омега-3)	8,684 г
Гамма-ліноленова (омега-6)	1,34 г
Стеаринова (омега-3)	0,617 г



Таблиця 5

Вміст амінокислот в 100 г конопляного насіння

Найменування	Кількість
Триптофан	0,369 г
Треонін	1,269 г
Ізолейцин	1,286 г
Лейцин	2,163 г
Лізин	1,276 г
Метіонін	0,933 г
Тистин	1,263 г
Валін	1,777 г
Аргінін	4,55 г
Гістидин	0,969 г
Аланін	1,528 г
Аспарагінова кислота	3,662 г
Глютамінова кислота	6,269 г
Гліцин	1,611 г
Пролін	1,597 г
Серін	1,713 г

Склад лляного насіння обумовлює його цінність як дієтичного продукту, що на сьогоднішній день широко використовується в харчовій промисловості. Насіння льону багате протеїнами, жирами, клейковиною та клітковиною. Склад лляного насіння канадських сортів, що домінують у світовому виробництві льону, по сухій речовині наступний: жирова складова - 41%, протеїни - 21%, клітковина - 28%, ароматичні кислоти, лігнін та геміцелюлоза, цукру - 6%, зольний залишок - 4% [1].

Склад лляного насіння суттєво змінюється залежно від сорту, середовища вирощування та способів переробки льону [2].

У табл. 6-10 наведено вміст харчових речовин, а саме калорійності, білки, жири, вуглеводи, вітаміни та мінерали на 100 г їстівної частини.



Таблиця 6

Поживна цінність лляного насіння на 100 г

Найменування	Кількість
Калорійність	534 ккал
Білки	18.3 г
Жири	42.2 г
Вуглеводи	1.6 г
Вуглеводи (загальні)	28.9 г
Харчові волокна	27.3 г
Вода	7 г
Зола	3.7 г

Таблиця 7

Вміст вітамінів в насінні льону

Найменування	Кількість
<i>Лютеїн + Зеаксантин</i>	651 мкг
Вітамін В1, тіамін	1.644 мг
Вітамін В2, рибофлавін	0.161 мг
Вітамін В4, холін	78.7 мг
Вітамін В5	0.985 мг
Вітамін В6, піридоксин	0.473 мг
Вітамін В9	87 мкг
Вітамін С, аскорбінова	0.6 мг
Вітамін Е, альфа токоферол, ТЭ	0.31 мг
<i>гамма Токоферол</i>	19.95 мг
<i>дельта Токоферол</i>	0.35 мг
Вітамін К, філохінон	4.3 мкг
Вітамін РР, НЭ	3.08 мг
Бетаїн	3.1 мг



Таблиця 8

Вміст мінералів в лляному насінні

Найменування	Кількість
Мікроелементи	
Калій, K	813 мг
Кальцій, Ca	255 мг
Магній, Mg	392 мг
Натрій, Na	30 мг
Сірка, S	182.9 мг
Фосфор, P	642 мг
Мікроелементи	
Залізо, Fe	5.73 мг
Марганець, Mn	2.482 мг
Мідь, Cu	1220 мкг
Селен, Se	25.4 мкг
Цинк, Zn	4.34 мг

Таблиця 9

Амінокислотний склад лляного насіння

Найменування	Кількість
Незамінні амінокислоти	
Аргінін*	1.925 г
Валин	1.072 г
Цитидин*	0.472 г
Ізолейцин	0.896 г
Лейцин	1.235 г
Лізин	0.862 г
Метіонін	0.37 г
Треонін	0.766 г
Триптофан	0.297 г
Фенілаланін	0.957 г
Замінні амінокислоти	



Продовження таблиці 9

Аланін	0.925 г
Аспарагінова кислота	2.046 г
Гідроксіпролін	0.175 г
Гліцин	1.248 г
Глутамінова кислота	4.039 г
Пролін	0.806 г
Серин	0.97 г
Тирозин	0.493 г
Цистеїн	0.34 г

Таблиця 10

Вміст жирних кислот в лляному насінні

Найменування	Кількість
Жирні кислоти	
Омега-3 жирні кислоти	22.813 г
Омега-6 жирні кислоти	5.91 г
Стероли (стерини)	
<i>Кампестерол</i>	45 мг
<i>Стігма стерол</i>	11 мг
<i>бета Сито стерол</i>	90 мг
Насичені жирні кислоти	3.663 г
14:0 Мірі стінова	0.008 г
15:0 Пентадеканова	0.005 г
16:0 Пальмітинова	2.165 г
17:0 Маргарінова	0.018 г
18:0 Стеаринова	1.33 г
20:0 Арахінова	0.052 г
22:0 Бегенова	0.052 г
24:0 Лігноцеринова	0.031 г
Мононенасичені жирні кислоти	7.527 г



Продовження таблиці 10

16:1 Пальми олеїнова (ud)	0.024 г
18:1 Олеїнова (ud)	7.359 г
20:1 Гад олеїнова (омега-9)	0.067 г
22:1 Ерукова (ud)	0.013 г
24:1 Нервонова (омега-9)	0.064 г
Поліненасичені жирні кислоти	28.73 г
18:2 Лінолева (ud)	5.903 г
18:3 Ліноленова (ud)	22.813 г
20:2 Омега-6	0.007 г

Аналізуючи дані табл. 6-10 можна зробити висновок, що насіння льону багате такими вітамінами та мінералами, як: вітаміном В1 – 109,6 %, холіном – 15,7 %, вітаміном В5 – 19,7 %, вітаміном В6 – 23,7 %, вітаміном В9 – 21,8 %, вітаміном РР – 15,4 %, калієм – 32,5 %, кальцієм – 25,5 %, магнієм – 98 %, фосфором – 80,3 %, залізом – 31,8 %, марганцем – 124,1 %, міддю – 122 %, селеном – 46,2 %, цинком – 36,2 %, що свідчить про його користь. Так, наприклад вітамін В1 входить до складу найважливіших ферментів вуглеводного та енергетичного обміну, що забезпечують організм енергією та пластичними речовинами, а також метаболізму розгалужених амінокислот. Нестача цього вітаміну веде до серйозних порушень з боку нервової, травної та серцево-судинної систем.

Холін входить до складу лецитину, відіграє роль у синтезі та обміні фосфоліпідів у печінці, є джерелом вільних метильних груп, діє як ліпотропний фактор.

Вітамін В5 бере участь у білковому, жировому, вуглеводному обміні, обміні холестерину, синтезі ряду гормонів, гемоглобіну, сприяє всмоктуванню амінокислот та цукрів у кишечнику, підтримує функцію кори надниркових залоз. Недолік пантотенової кислоти може призвести до ураження шкіри та слизових.

Також до шляхів підвищення біологічної та харчової цінності продуктів харчування відносяться технології приготування безглютенових продуктів. Результати проведених експериментальних досліджень з розробки технологій та рецептур безглютенових хлібобулочних виробів продемонстрували доцільність заміни традиційного глютенівмісного борошна на безглютенове. Застосування технології та рецептур, спрямоване на поліпшення органолептики



хлібобулочних виробів спеціального призначення, якості та підвищення біологічної цінності [11]. Експериментальні дослідження з розробки технології та рецептури безглютенових хлібобулочних виробів, дозволили визначені наступні показники якості: органолептичні та фізико-хімічні, досліджуваних та контрольних зразків, та провести комплексну оцінку якості. Встановлено, що якість безглютенових хлібобулочних виробів, виготовлених за розробленою технологією, відповідає показникам якості хліба [12]. Результати дослідження показали шляхи розширення асортименту безглютенових хлібобулочних виробів підвищеної біологічної цінності, а також види нетрадиційної безглютенової сировини, що можуть бути використані в технології хлібобулочних виробів.

Висновки. На основі проведеного аналізу пошуків шляхів підвищення харчової та біологічної цінності хлібобулочних виробів розглянуто основні напрями їх реалізації. Показано, що використання функціональних інгредієнтів в технологіях приготування хлібобулочних виробів дозволяє збагатити продукт незамінними амінокислотами, ненасиченими жирними кислотами, мінеральними речовинами, харчовими волокнами, вітамінами, що дозволяє значно підвищити харчову цінність вихідного продукту. Особливу увагу приділено напрямам використання насіння льону та конопель в технологіях приготування хлібобулочних виробів, як цінного дієтичного інгредієнту. Показано, що за своїм хімічним складом насіння коноплі є важливим функціональним інгредієнтом, так як містить омега-6 та омега-3 жирні кислоти, високоякісний протеїн, харчові волокна і мінеральні речовини. Ляне насіння багате такими вітамінами та мінералами, як: вітаміном В1 – 109,6 %, холіном – 15,7 %, вітаміном В5 – 19,7 %, вітаміном В6 – 23,7 %, вітаміном В9 – 21,8 %, вітаміном РР – 15,4 %, калієм – 32,5 %, кальцієм – 25,5 %, магнієм – 98 %, фосфором – 80,3 %, залізом – 31,8 %, марганцем – 124,1 %, міддю – 122 %, селеном – 46,2 %, цинком – 36,2 %, що свідчить про його користь. Основні речовини лляного насіння входить до складу найважливіших ферментів вуглеводного та енергетичного обміну, що забезпечують організм енергією та пластичними речовинами, а також метаболізму розгалужених амінокислот. Нестача цього вітаміну веде до серйозних порушень з боку нервової, травної та серцево-судинної систем та ін.

Список використаних джерел

1. Дробот В. І. Технологія хлібопекарського виробництва: підручник. Київ: Логос, 2002. 365 с.
2. Дробот В. І. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництва.: навч. посібник /



В. І. Дробот, Л. Ю. Арсенєва, О. А. Білик та ін. Київ: Центр навчальної літератури, 2006. 341 с.

3. Мукоїд Р. [та ін.]. Овес голозерний – сировина для лікувальнодієтичних продуктів. *Харчова і переробна промисловість*. 2010. № 2(366). С. 24–25.

4. Грищенко А. М., Дробот В. І. Технологічні властивості безглютенових видів сировини. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2014. Т. 1, вип. № 46. С. 162–166.

5. Чурсіна Л. А., Тіхосова Г. А., Горач О. О., Янюк Т. І. Наукові основи комплексної переробки льону олійного: монографія. Херсон: Олді-плюс, 2011. 356 с.

6. Дзюндзя О. В., Звагольська К. О. Аналіз нетрадиційної борошняної сировини для виробництва хлібобулочних виробів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2021. № 1. С. 22–29. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.1.4>.

7. Дзюндзя О. В., Труш С. С. Аналіз ринку та перспективи розширення безглютенової продукції. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2023. № 1. С. 57–64. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2023.1.6>.

8. Аналіз ринку ХБВ в Україні за 2018 1 пол. 2021 рр. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/issledovanie-rynka-pshenichnogo-hleba-i-presnyh-muchnyh-izdelij-ukrainy-2019-2020-gg> (дата звернення 03.09.2024).

9. Горач О. О. Обґрунтування інноваційних технологій функціональних рецептур. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2022. Вип. 6. С. 52–58.

10. Горач О. О., Домбровська О. П., Чурсіна Л. А. Інноваційні напрями використання насіння льону олійного та екологічна безпека харчової продукції. *Формування нової парадигми розвитку агропромислового сектору в ХХІ столітті*: кол. монографія / під ред. О. В. Аверчева. Херсон: Ліга-Прес, 2021. Том 2. С. 593–619.

11. Горач О. О. Проблеми та перспективи розвитку виробництва безглютенових продуктів харчування в Україні. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2022. Вип. 3. С. 128–132.

12. Горач О. О., Кіпіоро І. М., Гусар А. О. Використання альтернативних видів сировини з метою розробки нових безглютенових рецептур. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2022. Вип. 5. С. 38–44.

13. Gorach O. Conceptual basis of the formulation of gluten-free products based on the use of domestic plant raw materials. *Moderní aspekty vědy: Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.*, 2022. P. 373–388.



14. Gorach O., Dzyundzya O., Rezvykh N. Innovative Technology for the production of gluten-free food products of a new generation. *Current Nutrition & Food Science*. 2024. № 20(6). P. 734–744. <https://dx.doi.org/10.2174/0115734013280307231123055025>.

Стаття надійшла до редакції 18.09.2024 р.

O. Gorach

Kherson State Agrarian and Economic University

WAYS OF INCREASE IN FOOD AND BIOLOGICAL VALUES OF BAKERY PRODUCTS

Summary

The article analyzes ways of increasing the nutritional and biological value of bakery products and considers the main directions of their implementation. To date, technologies for the production of bakery products have been developed for healthy nutrition, prevention and reduction of the risk of the most common types of diseases - hypertension, atherosclerosis, obesity, as well as for increasing immunity and protecting substances from the negative effects of the environment.

The study shows that the use of functional ingredients during the preparation of bakery products allows to enrich the product with essential amino acids, unsaturated fatty acids, minerals, dietary fibers and vitamins, which significantly increases its nutritional and biological value. The results of experimental studies and economic calculations testify to the expediency of introducing such formulations into production.

It is shown that today the main task of the domestic food industry is the development of new technologies for processing agricultural raw materials into high-quality products that contribute to the prevention of diseases and compensate for the deficiency of vitamins, micro- and macroelements and other useful substances.

The main factors affecting the production of bakery products are the availability of raw materials, energy supply, logistics, and labor resources. However, the main reason for the drop in production is the loss of remaining production capacity and the loss of grain crops, storage and processing methods are complicated by problems. Changes in logistics routes and a decrease in the profitability of agricultural enterprises due to the blocking of grain exports and a drop in domestic prices led to a lack of fertilizers and plant protection products in the market, which was reflected in the quality of grains of the current season.

The use of flax and hemp seeds in bakery products is of particular interest as a valuable food ingredient. Flaxseed contains omega-6 and omega-3 fatty acids, high-quality protein, dietary fiber and minerals, and is an important functional material from the point of view of chemical composition. Flaxseed is rich in vitamins and other vitamins and minerals. The main substances of flaxseed are one of the most important enzymes of carbohydrate and energy metabolism, which provide the body with energy and plastic substances, as well as the metabolism of amino acids with a branched chain. Deficiency of this vitamin leads to serious disorders of the nervous, digestive and cardiovascular systems.

The results of experimental studies on the development of technologies and recipes for gluten-free bakery products showed the feasibility of replacing traditional



gluten flour with gluten-free flour. Application of technology and recipes aimed at improving the organoleptic properties of special purpose bakery products, quality and increasing biological value.

Key words: bakery products, quality, production, technology, dietary fiber, nutritional and biological value.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-19

УДК 663.93

С. О. Губа,

ORCID: 0000-0002-0546-7940

А. О. Попова,

ORCID: 0009-0003-0262-2575

Н. В. Болгова, к.с-г.н.,

ORCID: 0000-0002-0201-0769

В. І. Тищенко, к.с-г.н.,

ORCID: 0000-0001-8149-4919

О. О. Губа,

ORCID: 0009-0006-0574-1205

Сумський національний аграрний університет

e-mail: s.huba@snau.edu.ua, тел.: +380994458134

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ І РЕЦЕПТУРИ НАПОЮ КАВОВОГО ПІДВИЩЕНОЇ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ

Анотація. Метою дослідження, представленого в статті, була розробка рецептури та технології готового до вживання кавового напою з підвищеною харчовою та біологічною цінністю. Завдання поставлені для досягнення мети включали: теоретичну та експериментальну частини. Результатом теоретичної частини стало обґрунтування методів і способів підвищення харчової та біологічної цінності кавових напоїв, обрано інгредієнти та розроблено проекти рецептур. В ході проведення експериментальної частини дослідження було визначено оптимальний вміст інгредієнтів в продукті та розроблена робоча технологічна схема та технологічна інструкція виробництва пастеризованого кавового напою готового до вживання з підвищеною харчовою та біологічною цінністю. Готовий продукт виготовлений за розробленою технологічною схемою має стабільні показники якості та безпеки протягом 14 днів зберігання при $4\pm 2^\circ\text{C}$. Продукт виготовлений таким способом втрачає перспективність до впровадження саме через малі терміни зберігання, тому розробка аналогічного продукту з подовженими термінами зберігання в планах подальшого розвитку теми.

Ключові слова: кавові напої, харчова цінність, індивідуальні раціони харчування, тривале зберігання, якість та безпечність; харчування військовослужбовців.

Постановка проблеми. Теперішні реалії життя в Україні змінили першочергові завдання народного господарства в цілому, і в галузі харчових технологій зокрема. Наразі всі сфери галузі харчування направлені, окрім забезпечення населення базовим набором продуктів, на розробку продуктів з підвищеною харчовою та біологічною цінністю, для військовослужбовців в тому числі [1, 2].

Питання забезпечення якості та безпеки харчових раціонів військовослужбовців, особливо зараз, під час повномасштабного вторгнення, актуальне як ніколи. Велика увага приділяється удосконаленню індивідуальних наборів харчування, бо забезпечення



військовослужбовців їжею максимально готовою до вживання першочергове завдання оборонної та харчової галузі України [3, 4].

Індивідуальні оперативні сухпайки використовують в разі неможливості реалізації організованого харчування військовослужбовців, вони складаються з набору продуктів харчування, що забезпечить військовослужбовця їжею впродовж доби. Наразі на постачанні ЗСУ переважає індивідуальний раціон харчування зразка 2018 року. Він удосконалений в порівнянні з сухпайком зразка 2002 року, збалансований та розрахований на 3 прийоми їжі. Якщо порівнювати вітчизняний сухпайок зразка 2018 р з сухпайками зарубіжних армій зразку НАТО [5, 6], можна відмітити низьку забезпеченість десертами, напоями та енергетичними батончиками, при майже тотожній калорійності індивідуального автономного раціону [7, 8, 9].

Якщо упаковка і асортимент перших та других страв в сухпайках набули суттєвого покращення, в підсилених варіантах вони навіть укомплектовані безполумєневими розігрівачами, то напої у індивідуальних раціонах харчування, що старого, що нового зразка представлені чаєм та кавою, які потребують приготування [10, 11]. Процес приготування чаю чи кавового напою потребує певних умов та устаткування. В умовах перебування військовослужбовців в зоні активних бойових дій, під час місій, розведення вогню, для приготування гарячого напою вкрай небажане, тому розробка технології кавового напою готового до вживання актуальна і потребує детального вивчення.

Калорійність стандартного індивідуального раціону зразка 2018 року, складає від 3500 до 4100 ккал., але баланс між білками, жирами та вуглеводами 1:1,8:3 при рекомендованому 1:1,5:5-6. [10, 12]. Харчова та біологічна цінність кавових напоїв низька, винятком можуть бути напої з молочними складниками, або іншими функціональними інгредієнтами [13, 14, 15]. Тому, кавовий напій готовий до вживання по типу Зв1, міг би урізноманітнити індивідуальний сухпайок, підвищивши при цьому вуглеводну складову раціону.

Аналіз останніх досліджень. Асортимент напоїв на основі кави надзвичайно великий, але в основному представлений двома головними напрямками. Продукція у вигляді меленої або у вигляді розчинної кави [16, 17].

Виробництво готової продукції залежить від запитів ринку та способів виробництва. У випадку з меленою кавою, це відбір сировини, первинна обробка, обсмажування, купажування, розмелювання, додавання ароматизаторів та фасування [18, 19, 20].

Виробництво розчинної кави та всіх напоїв на її основі базується на екстракції з подальшим концентруванням та сушінням



екстрагованого концентрату [21, 22]. Готова продукція використовується для приготування гарячих напоїв безпосередньо перед вживанням. Виробництво готових до вживання напоїв на основі кави, не поширене. На ринку України представлено декілька торгових марок такої продукції, серед населення масової популярності не набуло.

Метою роботи була розробка технології та рецептури кавового напою готового до вживання без попереднього приготування з підвищеною харчовою та біологічною цінністю. Підвищення харчової та біологічної цінності кавового напою при проектуванні рецептури було першочерговою задачею роботи.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі завдання:

- визначення способів підвищення харчової цінності кавового напою готового до вживання;
- розробити проект варіантів рецептур кавового напою з підвищеною харчовою та біологічною цінністю;
- спроектувати технологію виготовлення та розробити технологічну інструкцію;
- відпрацювати проектну технологію в лабораторних умовах з дотриманням санітарно-гігієнічних норм виробництва;
- визначити показники якості та безпечності розробленого продукту, встановити граничні терміни зберігання.

Основна частина. Дослідження складалося з теоретичного та експериментального етапів. На теоретичному етапі дослідження було обґрунтовано способи підвищення харчової та біологічної цінності кавового напою та обрано перспективні інгредієнти для розробки рецептури.

Наступним кроком теоретичної частини дослідження стала розробка проектів рецептур та їх розрахунок.

Для виконання поставленого завдання було розроблено проект 3-х рецептур напоїв на основі кави: «LATTE», «МОЧА», «VANILLA». В основу розрахунку було покладено оптимальне співвідношення білків, жирів та вуглеводів у порції кавового напою, яку було прийнято за 200 г. Якщо прийняти середню енергетичну цінність сухпайку 3800 ккал, при умовно 3-х разовому харчуванні сніданок повинен становити близько 1000 ккал. Щоб 1 порція кавового напою покривала 25% енергетичної цінності сніданку, порція напою повинна мати калорійність 250 ккал [23, 24].

Так як вуглеводи є основним джерелом енергії для людини, а в харчовому індивідуальному раціоні військовослужбовців зразку 2018 р., їх не вистачає, то першим кроком експериментальних досліджень було встановлення максимально можливої кількості

вуглеводів. При додаванні в якості вуглеводного інгредієнту сахарози ми стикнулися з тим, що напій виходив надмірно солодкий, тому було вирішено замінити частину сахарози в рецептурі на вуглевод з меншим коефіцієнтом солодкості та оптимізувати напій по жиру та білку.

В якості джерела менш солодкого вуглеводу було обрано сухе знежирене молоко, до того ж воно також є і джерелом біологічно повноцінних, легкозасвоюваних білків. Таким чином вдалося досягти масової частки вуглеводів у готовому напої на рівні 15%, при тому смак продукту був не надто солодким.

На етапі оптимізації рецептури за білковим складом, було проведено дослідження зі встановлення максимально можливого вмісту білку в напої, джерелом біологічно повноцінного білка було обрано сухе знежирене молоко та концентрат сироваткових білків, бо він володіє високою біологічною цінністю. Було встановлено, що 10% білку в продукті призводить до надмірно в'язкої, не характерної даному виду продукції, консистенції. Експериментальним шляхом встановлено максимально можливий вміст білка на рівні до 7%.

Масову частку жиру регулювали за рахунок введення до рецептури вершків з молока коров'ячого, керуючись органолептичними дослідженнями експериментальних зразків та з урахуванням енергетичної цінності порції готового продукту.

Органолептичну оцінку напою проводили при температурі напою 60...65°C та при 18...22°C. Дегустаційна комісія до складу якої входять науково-педагогічні співробітники та здобувачі факультету харчових технологій Сумського національного аграрного університету встановили, що найкращими смаковими властивостями володіли зразки з масовою часткою жиру 5,0 % при обох температурних режимах, рисунок 1.

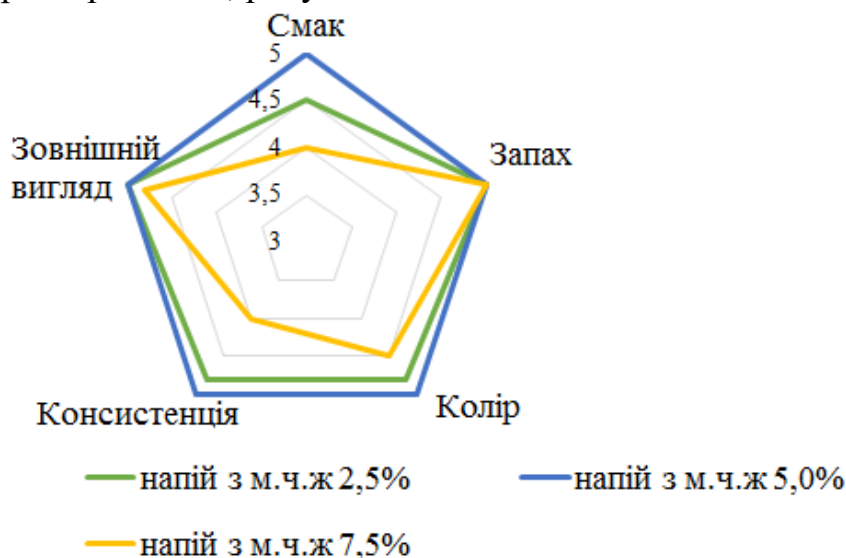


Рис. 1. Середня органолептична оцінка кавового напою з різною масовою часткою жиру, бал



Таким чином було спроектовано 3 робочі рецептури, за якими напої можна характеризувати, як продукт з високою харчовою та енергетичною цінністю, показники наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Показники харчової та енергетичної цінності розроблених рецептур кавових напоїв, в 100 г продукту

Показник	«LATTE»	«МОCHA»	«VANILLA»
Масова частка білку, %	7	6	7
Масова частка жиру, %	5,1	5,05	5,1
Масова частка вуглеводів, %	15	15,2	15
Енергетична цінність, ккал	134	131	134

Наступним етапом експериментальної частини дослідження стала розробка технологічної схеми виробництва, підбір оптимальних технологічних режимів і параметрів, з урахуванням складу продукту та орієнтуючись на показники безпечності. За основу було обрано принципову технологічну схему виробництва молока пастеризованого з наповнювачами. Підготовка сухих інгредієнтів, їх зважування, просіювання та розчинення проводили в окремій ємності. Розчиняли сухі компоненти в 20% від загальної маси, заздалегідь нормалізованої молочної суміші з температурою 20...22 °С, додаючи молочну суміш порціями в 2 прийоми. Для кращого розчинення та набухання білків з рецептурних компонентів, суміш витримували 20...25 хвилин при постійному перемішуванні та повільному нагріванні до 30...35°С. Після розчинення компонентів і візуального встановлення однорідності суміші, вносили її в основну масу нормалізованого молока, після чого продовжували перемішування протягом 20±5хв. Готову нормалізовану суміш пастеризували при постійному перемішуванні до температури 85...87 °С 5хв. Пастеризований продукт одразу охолоджували до температури 4±2°С, розливали у стерилізовану скляну тару з негайним герметичним укупорюванням. Зберігали при температурі 4±2°С протягом 14 діб. Визначення показників якості та безпечності проводили кожні 3 доби. За 14 діб зберігання, зразки продукту не мали суттєвих змін показників, окрім розшарування, так, як в умовах навчальної лабораторії не було можливості провести процес гомогенізації, який необхідний при виробництві багатокомпонентних продуктів з суттєвою масовою часткою жиру. Подальше зберігання не проводили.



Виробництво кавового напою таким способом не матиме перспективи виробництва, як продукту для використання в сфері оборони, адже терміни зберігання та упакування відіграють першочергову роль для продуктів призначених для вживання військовослужбовцями. Тому перспективою подальших досліджень є адаптація і промислова апробація розробленого продукту, з можливістю ультрапастеризації чи стерилізації суміші з розливом в реторт-пакети та контрольною стерилізацією в упаковці [25].

Висновки. В результаті проведених досліджень було розроблено 3 проектні рецептури напою кавового готового до вживання, встановлено оптимальний вміст білків, жирів та вуглеводів, та розраховано енергетичну цінність продукту, при умові вживання 200 грамів якого буде забезпечено 25% від енергоцінності сніданку. Розроблено технологічну інструкцію виробництва кавового напою з підвищеною харчовою та біологічною цінністю, та відпрацьовано в лабораторних умовах кафедри технологій та безпечності харчових продуктів робочу технологічну схему. Визначено, що при зберіганні продукту протягом 14 діб при температурі 4 ± 2 C° по фізико-хімічних та мікробіологічних показниках продукт залишається стабільним, змінам піддається лише консистенція, у зв'язку з відсутністю процесу гомогенізації.

В перспективі подальших досліджень адаптація технології виробництва для можливості виготовлення продукту стерилізованого або ультрапастеризованого в реторт-упаковці.

Список використаних джерел

1. Про затвердження Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах і енергії: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 03.09.2017 р. № 1073. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1206-17> (дата звернення 27.08.2024).
2. Товма Л. Ф., Морозов І. Є., Касьянов І. В., Мясников О. В. Обґрунтування необхідності формування бойових сухих пайків і раціонів харчування для забезпечення сил сектору безпеки і оборони України. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. 2023. Вип. 2 (42). <https://doi.org/10.33405/2409-7470/2023/2/42/293391>.
3. Петрова Ж. О., Пазюк В. М. Розробка складу комплексного пайку для гарячого харчування спецпризначенців. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. № 2(97). С. 76–80
4. Товма Л. Ф., Каплун С. О., Касьянов І. В. Методика оптимізації раціонів харчування військовослужбовців в особливий період. *Честь і закон*. 2018. № 1(64). С. 128–137.



5. Крупка Н. О., Брейдак О. А., Лотоцька-Дудик У. Б. Порівняльна характеристика сухих пайків військовослужбовців України та країн-членів НАТО. *Актуальні проблеми профілактичної медицини*. 2023. Вип. 25. С. 61–72.
6. The only official licensed sales of genuine British Army Ration Packs. *Vestey Foods Groups*. 2008. URL: <http://rations.vesteyfoods.com> (дата звернення 27.08.2024).
7. Савицький В. Л., Депутат Ю. М., Іванько О. М., Горішна О. В. Досвід застосування індивідуальних раціонів харчування військовослужбовців: реалії та перспективи. *Сучасні аспекти військової медицини*. 2020. Т. 27, № 2. С. 76–84. <https://doi.org/10.32751/2310-4910-2020-27-29>.
8. Ahmed M., Mandic I., Desilets E. & L'Abbe M. Energy balance of Canadian armed forces personnel during an arctic-like field training exercise. *Nutrients*. 2020. Vol. 12(6). P. 1638. <https://doi.org/10.3390/nu12061638>.
9. Mardar M., Hkrupalo M., & Stateva M. Comparative analysis of field ration for military personnel of the ukrainian army and armies of other countries worldwide. *Food Science and Technology*, 2017. Vol. 11(1). P. 293. <https://doi.org/10.15673/fst.v11i1.293>.
10. Харчування військовослужбовців: навчальний посібник / У. Б. Лотоцька-Дудик, Н. О. Крупка, О. А. Брейдак та ін. Львів-Вінниця, 2023. 76 с.
11. Чорна В. В., Козярін І. П., Подолян В. М. Гігієнічна оцінка та вимоги до індивідуальних пайків харчування військовослужбовців країн НАТО та ЗСУ. *Сучасні аспекти науки: 28 видання міжнародної колективної монографії*. Есеніце (Чеська республіка), 2023. § 8.2. С. 489–508.
12. Силка І. М. Оцінка стану харчування військовослужбовців Збройних сил України. *Наукові праці НУХТ*. 2016. № 21(6). С. 182–188.
13. Гольник А., Польовик В., Кузьмін О., Стукальська Н. Удосконалення технології кавових напоїв із додаванням нетрадиційної рослинної сировини. *Сучасні тенденції розвитку індустрії гостинності: III Міжнародна науково-практична конференція, 06 жовтня 2022 р. Львів : ЛДУФК імені Івана Боберського*, 2022. С. 150–152.
14. Матко С., Мельник Л., Ткаченко С. Розроблення технології напою підвищеної біологічної цінності зі зниженою калорійністю. *Продовольчі ресурси*. 2022. Вип. 10(18). С. 70–79. <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-07>.
15. Ткаченко Л., Вітряк О. Технологія коктейлів підвищеної біологічної цінності з використанням молочної сироватки. *Праці*



Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного. 2023. Вип. 23, т. 2. С. 195-205.

16. Зибарева О. В., Воронюк Т. А. Ринок кави в Україні: поточний стан та перспективи розвитку. *Економічний форум: Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича*, 2018. С. 25–30.

17. William H. Ukers All about Coffee. 804 p.

18. Angeloni G., Guerrini L., Masella P. [et al.]. Test of an innovative method to prepare coffee powder puck, improving espresso extraction reliability. *Eur Food Res Technol.* 2022. Vol. 248. P. 163-170. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03868-x>.

19. Angeloni G., Guerrini L., Masella P., Bellumori M., Daluiso S., Parenti A. & Innocenti M. What kind of coffee do you drink? An investigation on effects of eight different extraction methods. *Food Research International.* 2019. Vol. 116. P. 1327–1335. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.022>.

20. Salamanca C. A., Fiol N., González C., Saez M., Villaescusa I. Extraction of espresso coffee by using gradient of temperature Effect on physicochemical and sensorial characteristics of espresso. *Food Chem.* 2017. Vol. 214. P. 622–630. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.120>.

21. Терзієв С. Г., Левтринська Ю. О. Удосконалення теплових технологій розчинної кави. *Енергія. Бізнес. Комфорт: зб. матеріалів наук.-практ. конференція, Одеса, 1 груд. 2016 р. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса: ОНАХТ, 2016. С. 3–5.*

22. Vareltzis P., Gargali I., Kiroglou S. & Zeleskidou M. Production of instant coffee from cold brewed coffee; process characteristics and optimization. *Food Science And Applied Biotechnology.* 2020. Vol. 3(1). P. 39–46. <https://doi.org/10.30721/fsab2020.v3.i1.92>.

23. Попова А. О. Визначення способів підвищення харчової цінності напоїв на основі кави. *Матеріали НПК викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ, (14-16 травня 2024 р.)*. Суми: СНАУ, 2024. С. 597.

24. Попова А. О., Гордієнко Б. О., Губа С. О. Перспективи розробки готових кавових напоїв підвищеної харчової та енергетичної цінності. *Актуальні проблеми товарознавства, біотехнології, експертизи та митної справи: зб. матер. Міжнар. науково-практичної інтернет-конференції (м. Полтава, 20 лютого 2024 року)*. Полтава: ПУЕТ, 2024. С. 48-49.

25. Верхівкер Я. Г., Мирошніченко О. М. Сучасні види полімерної тари для консервованих харчових продуктів. *Товарознавчий вісник.* 2021. № 1, т. 14. С. 6–17.



Стаття надійшла до редакції 18.09.2024 р.

S. Huba, A. Popova, N. Bolgova, V. Tischenko, O. Huba
Sumy National Agrarian University

DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY AND RECIPE OF A COFFEE BEVERAGE WITH INCREASED NUTRITIONAL VALUE

Summary

The purpose of the research presented in the article was to develop the recipe and technology of a ready-to-drink coffee beverage with increased nutritional and biological value. The set tasks to achieve the goal included: theoretical and experimental parts. As a result of the implementation of the theoretical part of the research, there was a substantiation of methods and ways of increasing the nutritional and biological value of coffee beverages. Also at the theoretical stage, ingredients were selected and recipe projects were developed. The project of 3 recipes of coffee-based drinks: "LATTE", "MOCHA", "VANILLA" was developed. The calculation was based on the optimal ratio of proteins, fats and carbohydrates in a portion of coffee drink, which was taken for 200 g. Thus, 1 portion of coffee beverage will have a calorie content of 250 kcal, which is about 25% of the energy value of breakfast.

During the experimental part of the study, the optimal content of ingredients in the product was determined and a working technological scheme was developed. A technological instruction for the production of ready-to-drink pasteurized coffee drink with increased nutritional and biological value was developed. At this stage of the experimental part of the research, the development of the technological scheme of production took place, the selection of optimal technological modes and parameters, taking into account the composition of the product and focusing on safety indicators. The principle technological scheme for the production of pasteurized milk with fillers was chosen as the basis. The finished product, which was manufactured according to the developed technological scheme, had stable quality and safety indicators during 14 days of storage at $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

It is pointless to put into production a product with such a short shelf life. In the perspective of further research, the adaptation of the production technology for the possibility of manufacturing a sterilized or ultra-pasteurized product in retort packaging.

Key words: coffee beverage, nutritional value, individual diets, long-term storage, quality and safety; food of military personnel.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-20

УДК 637.146.3

Н. В. Болгова, к.с.-г.н.,

ORCID: 0000-0002-0201-0769

Сумський національний аграрний університет

e-mail: natalia.bolhova@snaeu.edu.ua, тел.: +380972918871

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БЕЗЛАКТОЗНОЇ РЯЖАНКИ

Анотація. Виробництво безлактозних продуктів харчування постійно розширюється. Особливу зацікавленість представляють молочні продукти. Метою дослідження була розробка технології безлактозного кисломолочного продукту. Об'єкт дослідження – технологія виробництва ряжанки з безлактозного молока. Предмет дослідження – ряжанка, ряжанка з безлактозного молока українського та закордонного виробництва. Розроблено технологію виробництва ряжанки із безлактозного молока. Тривалість температурної обробки продукту скоротилася до 30 хв. За органолептичними показниками зразок №1 набрав на 0,3 бали менше ніж №2. За фізико-хімічними показниками ряжанка з безлактозного молока відповідає вимогам ДСТУ. У процесі вивчення показника титрованої кислотності дослідних зразків був встановлений прямий зв'язок між кислотністю та часом зберігання. Отже, представлена технологія дозволить розширити асортимент безлактозної молочнокислої продукції на споживчому ринку.

Ключові слова: технологія, кисломолочний, ряжанка, безлактозний, спеціальний, молоко, реакції Майяра, сквашування, лактоза, аналіз.

Постановка проблеми. Молоко містить коротколанцюгові жирні кислоти, швидко зброджується і є значним осередком живильних речовин. Воно містить іони вуглецю, білок, впливаючи на зміцнення кісток. Заразом біоактивні пептиди в продуктах з молока підвищують опірність організму гіпертонії і тромбозам. Однак населення, яке страждає на непереносимість лактози полюбить молоко [1]. Саме тому багато фірм виробляють на основі молочної сировини харчовий продукт без лактози й зі зниженим її вмістом [2, 3, 4]. Такі спеціальні молочні продукти забезпечують організм необхідними поживними речовинами [5, 6]. Оскільки ринок безлактозних молочних продуктів демонструє значне зростання в останні роки завдяки підвищенню обізнаності споживачів про непереносимість лактози, виробництво безлактозної ряжанки дозволить розширити існуючий асортимент кисломолочних продуктів. Для вирішення цієї проблеми важливо розробити технологію молочних продуктів без лактози або зі зниженим вмістом.

Аналіз останніх досліджень. Нинішнє лікування населення з непереносимістю лактози в основному включає заміну звичайних



молочних продуктів на низьколактозні та безлактозні [7, 8] або прийом молочних продуктів з екзогенною лактазою чи пробіотиками.

Молочна продукція зі зниженим вмістом лактози або без лактози можуть знизити повторюваність шлунково-кишкових проявів у хворих непереносимістю лактози і в той же час забезпечити надходження поживних речовин, які містяться в молоці. Emily Sharp з колегами [8] проаналізували двадцять три первинних досліджень у своєму систематизованому дослідженні, вказавши, безлактозне молоко та лактозно-гідролізоване молоко альтернативою незбираному молоці, зменшуючи загрозу нестачі та суттєво забезпечуючи поживними ресурсами недужих та здорових. Taeger M. з іншими науковцями встановили, у порівнянні з іншими продуктами, що містять вап (наприклад, овочами та мінеральною водою), низьколактозні або безлактозні молочні продукти є доступним його джерелом для пацієнтів хворих на непереносимість молочного цукру. Молочні продукти з незначним вмістом лактози (безлактозні) визначені в ЄС як функціональні [10, 11].

Зростаючий асортимент продуктів з зниженим вмістом молочного цукру або без, в тому числі питне молоко, грецький йогурт, кефір, сир, морозиво та дитячі суміші, привертають все більшу увагу споживачів.

Вимога при розробці низьколактозних або безлактозних молочних продуктів полягає в уникненні даного компоненту, забезпеченні поживних і споживчих характеристик продукту та контролі виробничих витрат [13, 14]. Взагалі, вміст молочного цукру мусить бути менше 1 г/100 г для низьколактозних продуктів і менше 10 мг/100 г для безлактозних.

Формування цілей статті. Для молочної промисловості потенціал розширення ринку повинен стати вагомим поштовхом для постійного технологічного розвитку, що призведе до виникнення сучасних молочних продуктів, вдовільнять найбільш нетерпимих до лактози споживачів. Метою зазначеного експерименту була розробка технології безлактозних кисломолочних продуктів. Об'єкт дослідження – технологія виготовлення ряжанки з безлактозного молока. Предмет дослідження – ряжанка, ряжанка з безлактозного молока.

Основна частина. Для дослідження обрано три зразки: контроль, №1 – з молока безлактозного ТМ «Волошкове поле» (Україна), №2 – з молока безлактозного ТМ «Lacto» (Данія). Для заквашування використовували закваску ТМ «Vivo» відповідно до рекомендацій виробника.

Для дослідження обрано класичну схему виробництва ряжанки термостатним способом (рис. 1). Зміна в технологічному процесі виробництва безлактозної ряжанки стосувалася, на початковому етапі, сировини, тобто нами обрано як молоко-сировину безлактозне молоко.

Під час проведення дослідження за темою роботи безлактозне молоко обох виробників пряжили відповідно до класичної технології, а саме 4 год. В результаті отримали пряжене молоко, яке за зовнішнім виглядом, смаком та кольором було схоже на «іриску». Внесена закваска спрацювала, але згусток був слабкий, погано виражений (рис. 2).

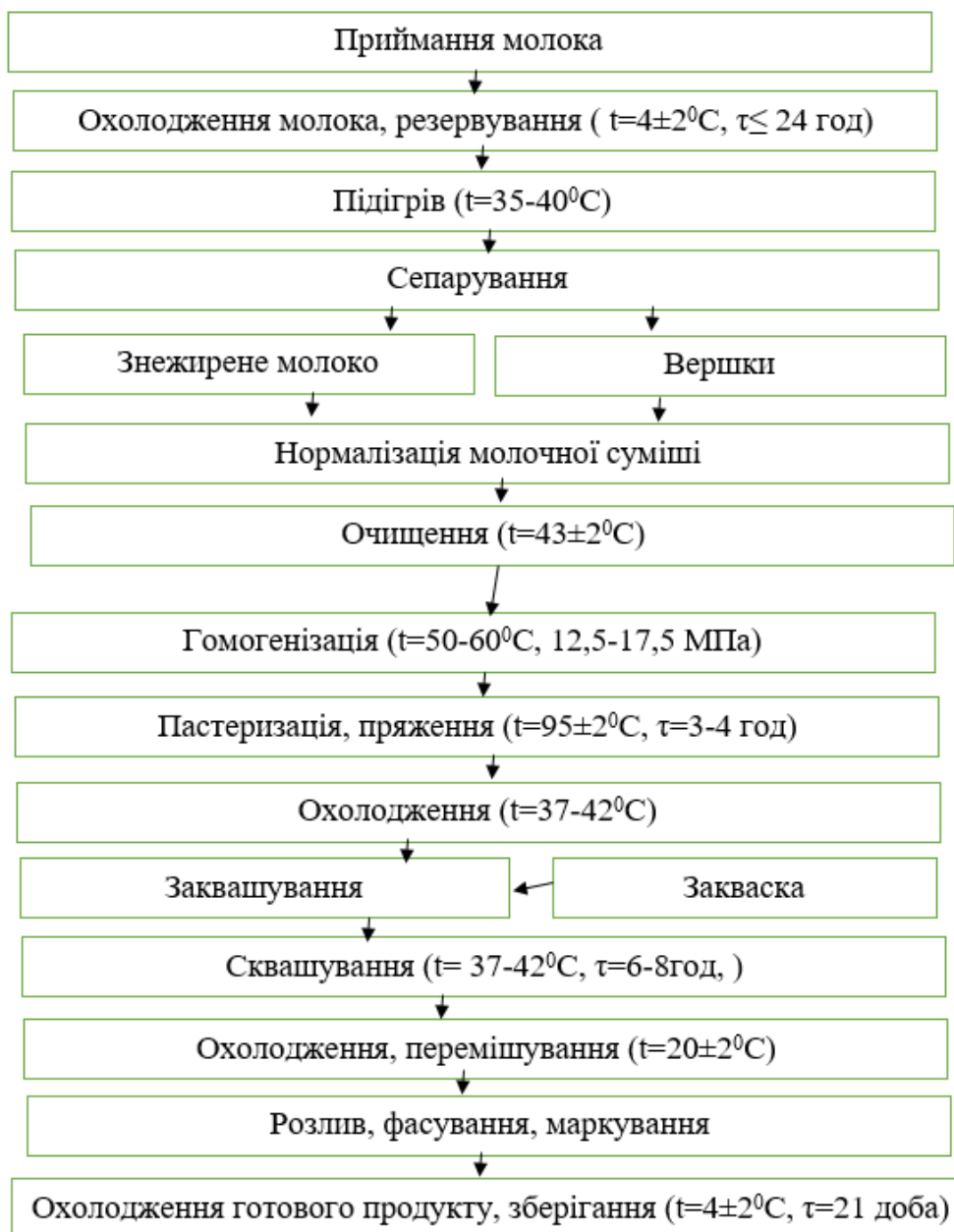


Рис. 1. Технологічна схема виробництва ряжанки



Рис. 2. Зразки ряжанки за класичною технологією

Враховавши результати попереднього дослідження, наступний експеримент проводили за умови пряження 30 хвили (рис. 3). В результаті отримане пряжене молоко за органолептичними показниками відповідало вимогам для ряжанки, колір максимально наближався до кольору класичного продукту – контролю. Отже, за рахунок реакції Майяра продукт мав характерний колір та смак притаманний ряжанці.



Рис. 3. Зразки розробленого продукту при зміні тривалості пряження

Спираючись на отримані результати на рисунку 4 представлена удосконалена технологічна схема.

Таким чином, застосування безлактозного молока в якості сировини дозволило удосконалити технологію виробництва безлактозної ряжанки, скоротивши тривалість температурної обробки продукту до 30 хв.

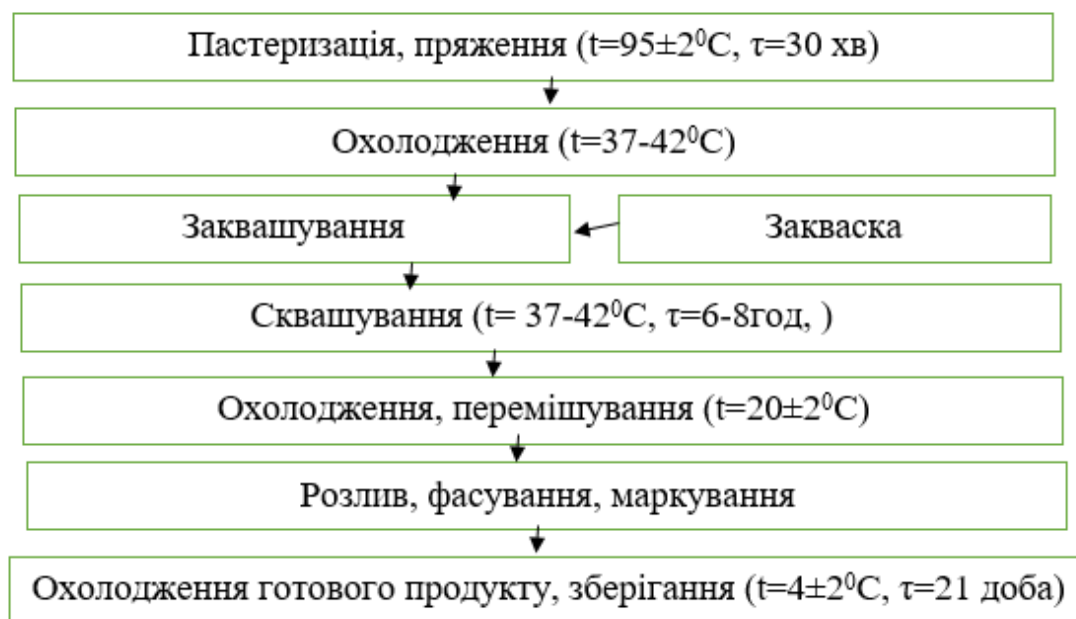


Рис. 4. Технологічна схема виробництва безлактозної ряжанки

Реакції утворення меланоїдинів (неферментативне почорніння, реакції Майяра) є одними з найпоширеніших процесів, що відбуваються під час теплової обробки харчових продуктів. Утворення темних меланоїдинів відбувається в результаті низки окислювально-відновних реакцій між сполуками, що містять вільні карбонільні та аміногрупи. Джерелами карбонільних сполук у продуктах харчування є продукти окислення вуглеводів і жирів. Залежно від типу вуглеводів інтенсивність забарвлення меланоїдинів, що утворюються, розподіляється в такому порядку: ксилоза, арабіноза, фруктоза, глюкоза, мальтоза і лактоза. Джерелами аміногруп є амінокислоти (наприклад, гліцин, лейцин, лізин, аланін), білки, пептиди та аміни. Характерний для пряженого молока смак і аромат обумовлений утворенням ароматичних речовин у пряженому молоці та накопиченням мікроорганізмів у процесі життєдіяльності закваски, а саме карбонових кислот (молочної, оцтової, пропіонової, капронової, каприлової), карбонільних сполук (ацетальдегіду, діацетилу, ацетону, метил етил кетон та ін.), що утворюються під дією вуглекислого газу. Молочна кислота надає продукту яскраво вираженого кислого смаку, діацетил і ацетальдегід - характерного кисломолочного аромату, а вуглекислий газ - приємного, освіжаючого смаку. Відмінності в смаку кисломолочних продуктів в основному обумовлені різним вмістом ацетальдегіду і діацетилу, а також часткою карбонової кислоти. Відповідно до чинних нормативних документів, дегустаційна комісія у складі п'яти осіб оцінювала органолептичні властивості безлактозної ряжанки. Результати представлені в таблиці 1 та на рисунку 5.

Згідно з органічними параметрами харчового продукту, ряжанка однорідна, помірної густини, з непорушеною коагуляцією, за смаком нагадує чисте кисломолочне молоко та має виражений аромат пряженого молока. Дефектів смаку, аромату, кольору та консистенції не виявлено. Хоча всі сенсорні параметри є добрими, слід зазначити наступні моменти: зразок №1 набрав на 0,3 бали більше ніж №2, однак розроблені зразки поступилися контролю, що обумовлено вихідною сировиною.

Таблиця 1

Органолептичні показники зразків, бал

Зразок	Зовнішній вигляд та консистенція	Смак і запах	Колір	Загальний бал
Контроль	5	5	5	15
№1	4,6	4,8	4,7	14,1
№2	4,7	4,8	4,9	14,4



Рис. 5. Діаграма сенсорної оцінки, бал

Таким чином, за органолептичними показниками безлактозна ряжанка відповідала вимогам ДСТУ 4565:2006 Ряжанка та варенець. Технічні умови. Це дозволяє зробити висновок про те, що використання безлактозного молока у технології виробництва ряжанки може підвищити попит у покупців за рахунок привабливості продукту за специфічними показниками. Виходячи з вище отриманих результатів, для наступних досліджень нами обрано зразок № 2.

Ряжанка містить культуру термофільних молочнокислих стрептококів, які сквашують молоко до утворення пружного згустку приємного на смак, аромат. Максимальна кислотність згорнутого молока становить 110-120°Т. При бажаній температурі сквашування 40°С тривалість становить 5-8 годин, а кінець процесу встановлюється за станом згустку і титрованою або активною кислотністю. Під впливом ферментів, що виділяють мікроорганізми, лактоза піддається



глибокому розщепленню (сквашуванню) з утворенням більш простих сполук (кислот, вуглекислого газу та ін.). У ході молочнокислої ферментації в молоці збільшується вміст молочної кислоти, і коли рН досягає 4,6-4,7, казеїн втрачає свою розчинність і коагулює, утворюючи згустки.

Результати дослідження фізико-хімічних показників безлактозної ряжанки представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники безлактозної ряжанки, $M \pm m$

Показник	Результати
Масова частка жиру, %	$2,5 \pm 1,01$
Масова частка білка, %	$2,8 \pm 0,11$
Кислотність:	
- титрована, °Т	$72 \pm 2,1$
- активна, рН	$4,1 \pm 1,0$

За всіма показниками (згідно табл. 2) безлактозна ряжанка відповідає вимогам державного стандарту. Продукція, що випускається, містить не менше 2,5% жиру, не менше 2,8% білка, титрована кислотність не перевищує 100 °Т, активна кислотність – не більше 4,0. Ряжанка при реалізації з підприємства мала температуру, яка не перевищує +4 °С.

У процесі вивчення кислотності був встановлений прямий зв'язок між кислотністю та часом зберігання (табл. 3).

Таблиця 3

Динаміка зміни титрованої кислотності, °Т

Зразок	3 доба	7 доба	14 доба
№2	$82 \pm 2,1$	$85 \pm 3,1$	$92 \pm 2,5$
Контроль	$88 \pm 2,1$	$91 \pm 3,7$	$96 \pm 4,2$

Отже, кислотність не перевищує значень, зазначених у нормативному документі. Проте видно, що під час зберігання рівень кислотності зростає. Тому з дієтичної точки зору кисломолочні продукти є більш цінними, ніж коров'яче молоко, і мають вищу терапевтичну цінність. Вони впливають на секреторну діяльність шлунково-кишкового тракту і посилюють травну функцію, а також краще засвоюються організмом, ніж коров'яче молоко. Характеризуються приємним, освіжаючим смаком і здатні підвищувати апетит, а отже і загальний стан організму людини.

Крім того, розроблений продукт є безлактозним, що значно розширює групу споживачів. За всіма фізико-хімічними показниками

безлактозна ряжанка відповідала вимогам ДСТУ 4565:2006 Ряжанка та варенець. Технічні умови.

Висновок. Розроблено технологію виробництва ряжанки із безлактозного молока в якості сировини. Це дозволило удосконалити процес виробництва, зменшити тривалість температурної обробки продукту до 30 хв, а також розширити асортимент безлактозної молочнокислої продукції на споживчому ринку.

Список використаної літератури

1. Yudina T., Serenko A. Formation of the domestic market of lactose-free and low-lactose dairy products. *International scientific-practical journal commodities and markets*. 2021. Vol.38. No (2). P. 33–43. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021\(38\)03](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021(38)03)
2. Dekker Peter, Koenders Damiet, Bruins Maaïke. Lactose-Free Dairy Products: Market Developments, Production, Nutrition and Health Benefits. *Nutrients*. 2019. Vol. 11. P. 551. <https://doi.org/10.3390/nu11030551>
3. Yudina T., Serenko A. Technology of low-lactose milk mixtures for yogurts. *International scientific-practical journal commodities and markets*. 2022. Vol.43. No (3). P. 108–116. [https://doi.org/10.31617/2.2022\(43\)09](https://doi.org/10.31617/2.2022(43)09)
4. Болгова Н., Самілик М., Назаренко Ю., Соколенко В. Технологія виробництва безлактозного йогурту з дотриманням принципів системи НАССР. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2021. № 4. С. 33–46. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.4.4>
5. Bongkosh Vardhanabhuti, Yun Wang, Low Lactose Milk Products, Editor(s): Paul L.H. McSweeney, John P. McNamara, Encyclopedia of Dairy Sciences (Third Edition). *Academic Press*. 2022. P. 423–429. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818766-1.00345-7>
6. Romanchuk I., Minorova A., Rudakova T., Moiseeva L. Regularities of lactose hydrolysis in dairy raw materials. *Food Resources*. 2020. Vol.8. No 14. P. 165–174. <https://iprjournal.kyiv.ua/index.php/pr/article/view/55>
7. Aili Li, Jie Zheng, Xueting Han, Zehua Jiang, Bowen Yang, Sijia Yang, Wenjia Zhou, Chun Li, Mingshuang Sun, Health implication of lactose intolerance and updates on its dietary management. *International Dairy Journal*. 2023. Vol.140. P. 105608. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105608>
8. Emily Sharp, Nathan M. D'Cunha, Chaminda Senaka Ranadheera, Todor Vasiljevic, Demosthenes B. Panagiotakos, Nenad Naumovski, Effects of lactose-free and low-lactose dairy on symptoms of gastrointestinal health: A systematic review. *International Dairy Journal*. 2021. Vol.114. P. 104936. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104936>



9. Taeger M., Thiele S. Additional costs of lactose-reduced diets: lactose-free dairy product substitutes are a cost-effective alternative for people with lactose intolerance. *Public Health Nutr.* 2021. Vol.24(13). P. 4043-4053. <https://doi.org/10.1017/S1368980021002779>
10. Szabó E., Szakos D., Kasza G., Ózsvári L. Analysis of the target group of lactose-free functional foods for product development. *Acta Alimentaria.* 2021. Vol. 50(2). P. 153–161. <https://doi.org/10.1556/066.2020.00168>
11. Mygdalia A., Sfetsas T., Dimitropoulou G., Zioupou S., Mitsopoulos T., Lithoxopoulos P., Ioannou C., Katsantonis D. Recipe for Brown Rice Milk-based Vegan Ice Cream. *Asian Food Science Journal.* 2023. Vol. 22(4). P. 33–39. <https://doi.org/10.9734/afsj/2023/v22i4629>
12. Suri S., Kumar V., Prasad R., Tanwar B., Goyal A., Kaur S., Gat Y., Kumar A., Kaur J., Singh D. Considerations for development of lactose-free food. *J. Nutr. Intermed. Metab.* 2019. Vol.15. P. 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.jnim.2018.11.003>
13. Bartuzi M., Szamocka M., Ukleja-Sokołowska N. Social and economic difficulties of patients with food intolerances. *Postepy Dermatol Alergol.* 2023. Vol. 40(2). P. 298–307. <https://doi.org/10.5114/ada.2023.126412>
- López Ruiz Á.L., Ruiz Morales F.d.A., Ruiz Pérez-Cacho P., Galán-Soldevilla H. Effect of Lactose-Reduction in Murciano-Granadina Semi-Hard Goat Cheese on Physicochemical and Sensory Characteristics. *Foods.* 2023. Vol. 12. P. 996. <https://doi.org/10.3390/foods12050996>

Стаття надійшла до редакції 19.09.2024 р.

N. Bolhova
Sumy National Agrarian University

ANALYSIS OF LACTOSE-FREE RYAZHANKA PRODUCTION TECHNOLOGY

Summary

Lactose, the most abundant milk component of most mammals, is an important source of energy for newborn offspring. After weaning, the ability to digest lactose decreases because the adult body loses the ability to produce the lactase enzyme necessary for lactose digestion. The production of lactose-free food products is constantly expanding. Dairy products are of particular interest. The aim of the study was to develop the technology of a lactose-free fermented milk product. The analysis of the market of lactose-free dairy products in Ukraine showed the absence of lactose-free ryazhanka, therefore the development of technology for its production is an urgent issue. The object of the study is the production technology of ryazhanka from lactose-free milk. The subject of the study is ryazhanka, ryazhanka made from lactose-free milk of Ukrainian and foreign production.



The technology for the production of ryazhenka from lactose-free milk as a raw material has been developed. This made it possible to improve the production technology by reducing the duration of temperature treatment of the product to 30 minutes, as well as to expand the range of lactose-free lactic acid products on the consumer market. According to organoleptic parameters, ryazhanka made from lactose-free milk is uniform, moderately dense, with an intact but weak clot, the taste is clean, and the taste is sour-milk with a pronounced aftertaste of strained milk. However, the following points should be noted: sample №1 scored 0.3 points less than №2. According to physical and chemical parameters, ryazhanka made from lactose-free milk meets the requirements of DSTU. Produced products contain at least 2.5% fat, at least 2.8% protein, titrated acidity does not exceed 100 °T, active acidity - no more than 4.0, temperature during sale does not exceed +4 °C. In the process of studying the index of titrated acidity of experimental samples, a direct relationship between acidity and storage time was established. Therefore, the presented technology will allow to expand the range of lactose-free lactic acid products on the consumer market.

Key words: technology, sour milk, ryazhanka, lactose-free, special, milk, Maillard reaction, fermentation, lactose, analysis.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-21

УДК 664.16:634.747

Т. Ярмош, асп,

ORCID: 0000-0001-7884-6792

Ф. Перцевой, д.т.н., проф.,

ORCID: 0000-0002-3111-5017

Т. Маренкова, ст. викл.

ORCID: 0000-0001-7481-0848

Сумський національний аграрний університет

e-mail: yarmoshtata@gmail.com, тел.: +380669720201

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОРБІТУ ТА КСИЛІТУ ДЛЯ ЕКСТРАГУВАННЯ БАРВНИХ РЕЧОВИН З БУЗИНИ ЧОРНОЇ

Анотація. У роботі представлено результати дослідження ефективності екстракції пігментів з вичавок бузини за допомогою поліолів. Метою роботи було дослідити ефективність екстракції барвних речовин з вичавок бузини з використанням поліолів (сорбіту та ксиліту).. У дослідженні використовували вичавки плодів бузини чорної зібрані на стадії повного дозрівання у Сумській області 2023 року. В роботі було визначено фізико-хімічні та органолептичні показники свіжих плодів ягід бузини, вичавок бузини свіжих та висушених. Для подальшого дослідження вичавки бузини висушували при температурі $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ протягом 6 год. з наступним подрібненням до розміру часток 0,4 – 0,5 мм. В якості еталону порівняння було використано дистильовану воду. Подрібнені вичавки заливали розчинниками у співвідношенні 1:30. Ретельно розмішували та витримували при температурі $60 \pm 0,5^\circ\text{C}$, тривалості 120 хв.

Отримані спектри екстрактів з використанням підкислених водно-сорбітового та водно-ксилітового розчинів демонстрували максимальні піки в області довжини хвиль 475-500 нм, що відповідає синьо-зеленій частині видимого спектру. Такий характер спектрів є типовим для розчинів, що містять флавоноїди та антоціани – біологічно активні сполуки з вираженою пігментацією. Наявність інтенсивних смуг поглинання в області 400-500 нм у спектрах екстрактів підтверджує присутність цих сполук. Встановлено, що оптимальна концентрація поліолів у водних розчинах для максимального вилучення пігментів складає 10% (мас.). При таких умовах вміст барвних речовин в екстрактах складає 16,83 г/кг у підкисленому водно-сорбітовому розчині, 15,98 г/кг у водно-ксилітовому та 14,0 г/кг у чисто водному розчині. Подальше збільшення концентрації поліолів призводить до значного зростання в'язкості розчинів. Це, в свою чергу, суттєво ускладнює дифузію молекул барвних речовин з твердої фази в рідку, що негативно впливає на масоперенос та, як наслідок, знижує ефективність екстракції.

Ключові слова: натуральні барвники, барвні речовини, екстрагування, бузина чорна, вичавки, антоціани, сорбіт, ксиліт, поліоли.

Постановка проблеми. Антоціани мають важливе значення для здоров'я людини та харчової промисловості завдяки своїм



антиоксидантним і функціональним властивостям. Традиційно екстракцію антоціанів проводять за допомогою органічних розчинників, які мають токсикологічну дію. Пошуки більш екологічних розчинників і методів отримання натуральних барвників є актуальним завданням сучасної науки.

Постановка проблеми. Більшість досліджень у галузі екстракції, спрямовані на пошуки нових екологічно чистих розчинників. Оскільки, більшість традиційних розчинників, таких як гексан, хлороформ, метанол та толуен є небезпечними, токсичними, легкозаймистими, мутагенними та канцерогенними [1, 2]. Їх використання призводить до забруднення довкілля, негативно впливає на організм людини, а також створює значні ризики під час виробництва, транспортування та зберігання. Тому існує доцільність дослідити ефективність поліолів у рослинній сировині, як потенційних екологічно чистих та безпечних розчинників. Поліоли, як сполуки з високою полярністю і здатністю утворювати водневі зв'язки, проявляють високу розчинність щодо багатьох органічних сполук, при цьому є біологічно розкладними та мають низьку токсичність.

Аналіз останніх джерел. Цукрові спирти (поліоли) – це органічні сполуки, що належать до групи багатоатомних спиртів. Їх молекули містять декілька гідроксильних груп (-ОН), що надає їм характерні властивості. До найбільш відомих представників цукрових спиртів належать сорбіт, маніт, ксиліт, ізомальт та гідрогенізовані гідролізати крохмалю. Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям, цукрові спирти широко застосовуються у харчовій промисловості як підсолоджувачі, загусники та структуроутворювачі. Крім того, цукрові спирти надають продуктам відчуття прохолоди в роті, що особливо цінується у виробництві жувальних гумок, льодяників, безалкогольних напоїв та інших освіжаючих продуктах. Цукрові спирти містять низький глікемічний індекс, завдяки чому мають широкий спектр застосування, а також вони не сприяють розвитку карієсу. Однак, цукрові спирти, за винятком еритриту, можуть викликати розлади ШКТ при споживанні у надмірних кількостях.

Сорбіт (E420, шестиатомний спирт) – білі кристалічні гранули без запаху та солодкі на смак, добре розчинні у воді. У природі містяться у фруктах та овочах. Отримують шляхом гідрогенізації глюкози з кукурудзяного сиропу. Також відомий спосіб добування сорбіту за допомогою бактерій *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, *Synechocystis* sp. і *Zymomonas mobilis* [3]. Технологія виробництва сорбіту передбачає підготовку живильного середовища на основі суміші глюкози та фруктози. Як біокатализатор застосовують фермент глюкозо-фруктозооксидоредуктазу, який



продукується мікроорганізмом *Z. mobilis*. В результаті ферментативної реакції отримують сорбіт з більшим виходом ніж за традиційною технологією [4].

Сорбіт застосовують, як замітник цукру та підсолоджувач, так як має низький глікемічний індекс ($GI=9$) і не викликає різкого підвищення глюкози в крові. Він має найменший коефіцієнт солодкості (0,6) та найнижчу калорійність (260 ккал/100г). Крім того, створює захисний бар'єр на поверхні зубів, перешкоджаючи розвитку карієсу. Найчастіше його використовують у харчових продуктах для діабетиків, жувальних гумках, напоях, кондитерських низькокалорійних виробів, консервах, хлібобулочній, рибній, молочній й м'ясопереробній промисловості.

Одним із помітних недоліків, пов'язаних із сорбітом, є його здатність викликати розлади травлення та зневоднення організму при великих концентраціях [5]. Він піддається неповному всмоктуванню в тонкому кишечнику, і невсмоктаний сорбіт може притягувати воду в кишечник, що призводить до розладів шлунка. Тому вкрай важливо забезпечити належну гідратацію під час споживання продуктів, що містять сорбіт.

У хлібопекарській промисловості сорбіт використовують, як підсолоджувач, комплексоутворювач та емульгатор. Він ефективно утримує вологу у тісті, покращує водоутримуючу здатність глютену, що в результаті призводить до підвищеної м'якості хлібобулочних виробів. У жувальних гумках сорбіт виконує роль підсолоджувача, який стимулює саливацію та знижує кислотність у ротовій порожнині. Останнім часом, почали застосовувати у харчовій продукції комбінацію сорбіт та ксиліту для з метою зниження вартості. Сорбіт, завдяки своїм фізико-хімічним властивостям та більш низькій вартості, часто використовується як основний наповнювач у низькокалорійному шоколаді. Однак, висока концентрація сорбіту, може погіршувати структуру виробів та надмірне відчуття охолодження в роті.

Ксиліт (E967, п'ятиатомний спирт) - білі кристалічні гранули без запаху та солодкі на смак, добре розчинні у воді. У природі містяться у фруктах та овочах. В організмі людини та тварини під час метаболізму глюкози утворюється невелика частина сорбіту. За традиційною технологією, ксиліт отримують з рослинної сировини шляхом каталітичного гідрування ксилози в присутності нікелевого каталізатора при температурі 180 °C та тиску 50 атм. Також практикують інший більш економічно ефективний спосіб отримання ксиліту із застосуванням дріжджів та бактерій роду *Enterobacter* і *Corynebacterium* [6].



Ксиліт використовують у жувальних гумках, напоях, кондитерських низькокалорійних виробках, консервах, виробках для діабетиків, хлібобулочній, рибній, молочній й м'ясопереробній промисловості. Ксиліт рекомендують вживати хворим на діабет, оскільки метаболізм не потребує інсуліну. Було доведено, що ксиліт запобігає утворенню карієсу, тому він був включений в деякі продукти охорони здоров'я, такі як зубна паста та рідина для полоскання рота. Ксиліт не розкладається бактеріями порожнини рота, що знижує кількість *Streptococcus mutans*.

Додавання ксиліту до хлібобулочних виробів у концентрації 0-5% призводить до утворення тонкої скоринки. Однак, при збільшенні концентрації понад 15-20% спостерігається зниження інтенсивності кольору та зменшення об'єму готового хліба. Це пов'язано з тим, що ксиліт не ферментується дріжджами, що обмежує процес бродіння та газоутворення [7]. Порівняно з глюкозою або фруктозою, ксиліт не так добре засвоюється в кишечнику людини. Викликає розлади травлення та зневоднення організму при великих концентраціях.

Останнім часом сорбіт та ксиліт почали використовувати, як складову частину евтектичних розчинників. До евтектичних розчинників включають солі, органічні кислоти, цукри та поліолі, які утворюють між собою міцні водневі зв'язки та здатні знижувати температуру плавлення суміші. Складові евтектичних розчинників підбирають експериментально, оскільки не всі речовини можуть взаємодіяти між собою. Поширеність евтектичних розчинників пов'язана з їх універсальністю та здатністю розчиняти полярні та неполярні речовини.

Дослідниками [11] була запропонована суміші розчинників (ксиліт: гліцерин: вода), (фруктоза: гліцерин: вода), (сорбіт: гліцерин: вода) у співвідношенні (1:2:3). Додавання поліолів зумовлено їхньою здатністю утворювати міцні водневі зв'язки, регулювати в'язкість, теплоємність та температуру плавлення. Оскільки швидкість та ефективність екстракції залежить від в'язкості та температури кипіння розчинника. Нижча в'язкість сприяє кращому перемішуванню фаз та проникненню розчинника в матрицю зразка, що, в свою чергу, прискорює масообмін та підвищує вихід екстракту. Тому використання поліолів, як компонентів, робить їх цінними компонентами для створення стабільних і функціональних евтектичних розчинників. Однак, отримані суміші поки що тестуються і практичного використання не отримали.

Дослідниками [8] було досліджено екстракцію антоціанів чорноплідної горобини за допомогою ультразвуку, поліолів (гліцерину, 1,2-пропандіолу, сорбіту), цукрів, аміду та органічних кислот. Екстрагування проводили при температурі 42,7°C та



тривалості 90 хв. з додаванням 3% гідроксипропіл- β -циклодекстину, яка додатково підвищує розчинність малорозчинних сполук та продовжує термін зберігання. Однак, отримання барвника за допомогою даної технології є дорогим. Також відомо технології використання поліолів для отримання кофеїну. Технологія передбачає [9] екстрагування кавових зерен з водним розчином хлорид холіну та сорбіт у кількості (4:1). Найбільший вихід кофеїну було отримано при екстрагуванні кавових зерен протягом 30 хв. Вихід кофеїну складав 16,59 мг/г сухої маси.

Також відома технологія отримання біологічно активних речовин за допомогою евтектичних розчинників та ультразвуку. Оскільки традиційний метод екстракції показує низьку ефективність і високе енергоспоживання. В якості сировини використовували шкірку мапакуїї, побічного продукту виробництва напоїв, що спричиняє забруднення навколишнього середовища та збільшує витрати на обробку. В якості розчинників використовували холінхлорид та поліоли з органічними кислотами. Оптимальними умовами екстракції було встановлено мікрохвильова потужність 387 W, тривалість 2,5 хв., співвідношення сировина-розчинник (1:20). Дослідники вважають, що природні глибокі евтектичні розчинники є екологічною та нетоксичною альтернативою водно-спиртовій екстракції [12 - 14].

Таким чином, поліоли відкривають нові можливості для розробки ефективних та екологічно чистих технологій екстракції. Однак, для широкого практичного застосування на їх основі необхідні подальші дослідження та оптимізація.

Мета дослідження. дослідити ефективність екстракції барвних речовин з вичавок бузини з використанням поліолів (сорбіту та ксиліту).

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз літературних джерел показав, що є необхідність дослідити ефективність поліолів для екстрагування барвних речовин з вичавок бузини. Оскільки більшість досліджень отримання барвника з вичавок бузини чорної спрямовані на використання етилового спирту та ферментативних препаратів.

Матеріали і методи дослідження. У роботі було досліджено ефективність екстракції підкислених водних розчинів з додаванням поліолів (сорбіту і ксиліту). В якості джерела барвних речовин використовували висушені вичавки плодів бузини чорної.

Органолептичні та фізико-хімічні показники бузини чорної визначали за стандартними методиками:

Сухі речовини (загальні)

Сухі речовини (розчинні)

ДСТУ 7804:2015

ДСТУ ISO
2173:2007



Титрована кислотність

ДСТУ 4957:2008

Масова концентрація фарбувальних речовин

ДСТУ 3845-99

Екстракцію проводили при температурі $60 \pm 0,5$ °C протягом 120 хвилин. Оптичну щільність розчинів визначали за допомогою фотоелектричного колориметра КФК-2 в діапазоні довжин хвиль 315-630 нм, кювети з оптичним шляхом 10 мм. Обробку експериментальних даних та візуалізацію результатів здійснювали за допомогою програмного забезпечення OriginPro.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для проведення дослідження були використані вичавки стиглих плодів бузини чорної, зібраних у Сумській області протягом вегетаційного періоду 2023 року.

Вичавки плодів бузини чорної обробки розчином лимонної кислоти з наступним висушуванням при температурі (50 ± 5) °C протягом 6 годин. Для подальшого використання сировину подрібнювали до фракції розміром 0,4-0,5 мм.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники плодів та вижимок бузини чорної

Назва зразка	Масова частка, %		
	Сухі речовини (загальні)	Сухі речовини (розчинні)	Титрована кислотність
Ягоди бузини (свіжі)	$15,5 \pm 0,5$	$17,0 \pm 0,5$	$1,6 \pm 0,1$
Вижимки бузини (свіжі)	$30,8 \pm 0,5$	$19,0 \pm 0,5$	$1,4 \pm 0,1$
Вижимки бузини (висушені)	$85,0 \pm 0,5$	-	-

Джерело: досліджено автором

З метою максимального вилучення біологічно активних сполук з рослинної сировини було обрано наступні параметри екстракції: співвідношення твердої та рідкої фаз 1:30, температура $60 \pm 0,5$ °C та час екстракції 120 хвилин. Подрібнену суху сировину екстрагували підкисленими водними розчинами сорбіту та ксиліту. Після завершення процесу екстракт фільтрували та зберігали в охолоджену вигляді (4 ± 2 °C) для подальших досліджень.



Рис. 1. Подрібнені
вичавки бузини



Рис. 2. Екстрагування барвних
речовин з вичавок бузини

На рис. 3 - 9 відображено графіки залежності оптичної щільності від довжини хвилі для трьох зразків: зразок 1 (вода – сировина - лимонна кислота), зразок 2 (вода – сировина - лимонна кислота – сорбіт) та зразок 3 (вода – сировина - лимонна кислота – ксиліт) в діапазоні довжини хвилі від 350 до 750 нм.

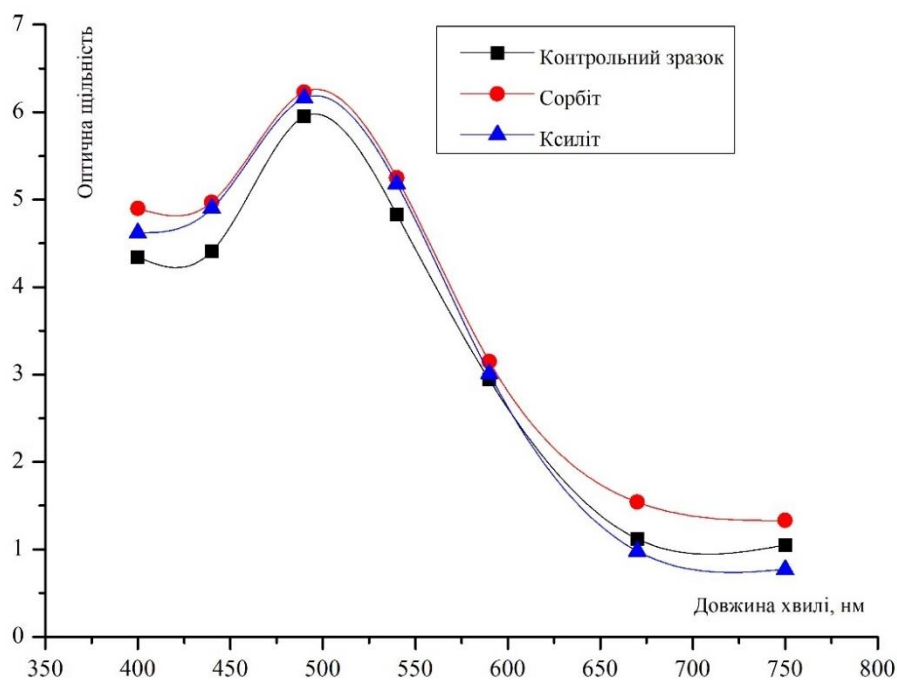


Рис. 3. Залежність оптичної густини екстрактів від концентрації розчинників: водно-сорбітовий розчин (1,5 % мас.), водно-ксилітовий розчин (1,5 % мас.) та дистильована вода (контроль)

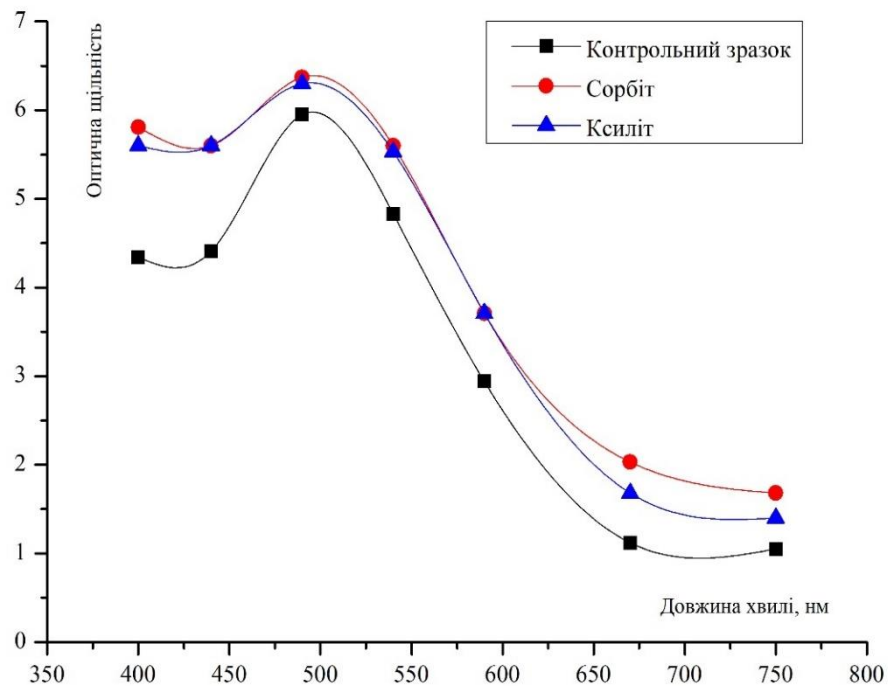


Рис. 4. Залежність оптичної густини екстрактів від концентрації розчинників: водно-сорбітовий розчин (2 % мас.), водно-ксилітовий розчин (2 % мас.) та дистильована вода (контроль).

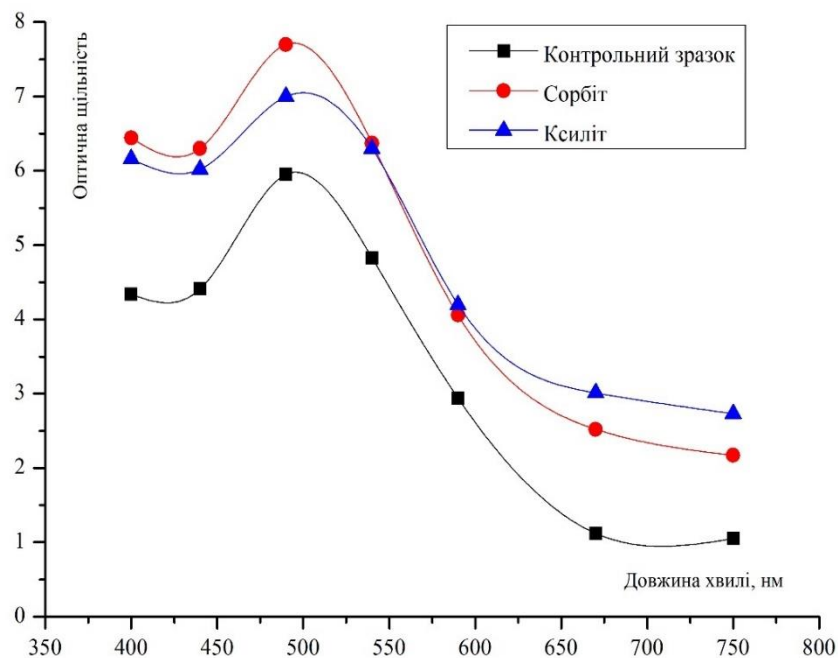


Рис. 5. Залежність оптичної густини екстрактів від концентрації розчинників: водно-сорбітовий розчин (5 % мас.), водно-ксилітовий розчин (5 % мас.) та дистильована вода (контроль)

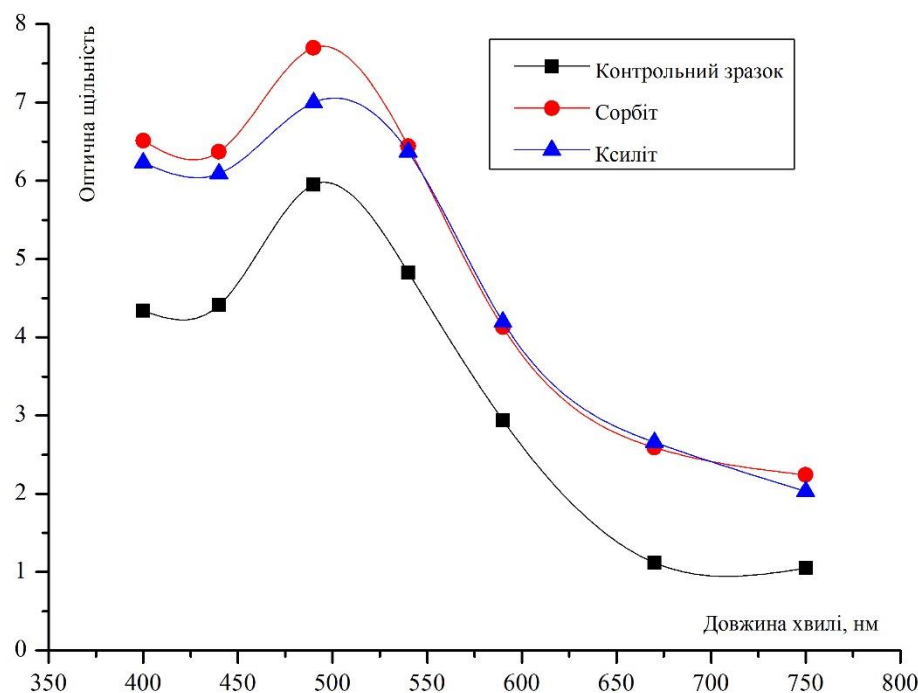


Рис. 6. Залежність оптичної густини екстрактів від концентрації розчинників: водно-сорбітовий розчин (10 % мас.), водно-ксилітовий розчин (10 % мас.) та дистильована вода (контроль)

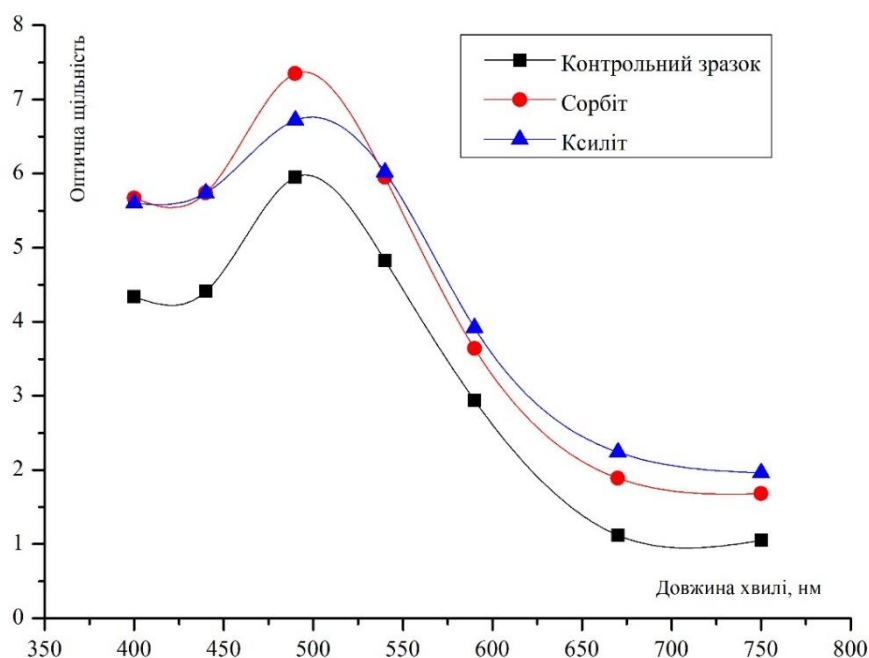


Рис. 7. Залежність оптичної густини екстрактів від концентрації розчинників: водно-сорбітовий розчин (15 % мас.), водно-ксилітовий розчин (15 % мас.) та дистильована вода (контроль)

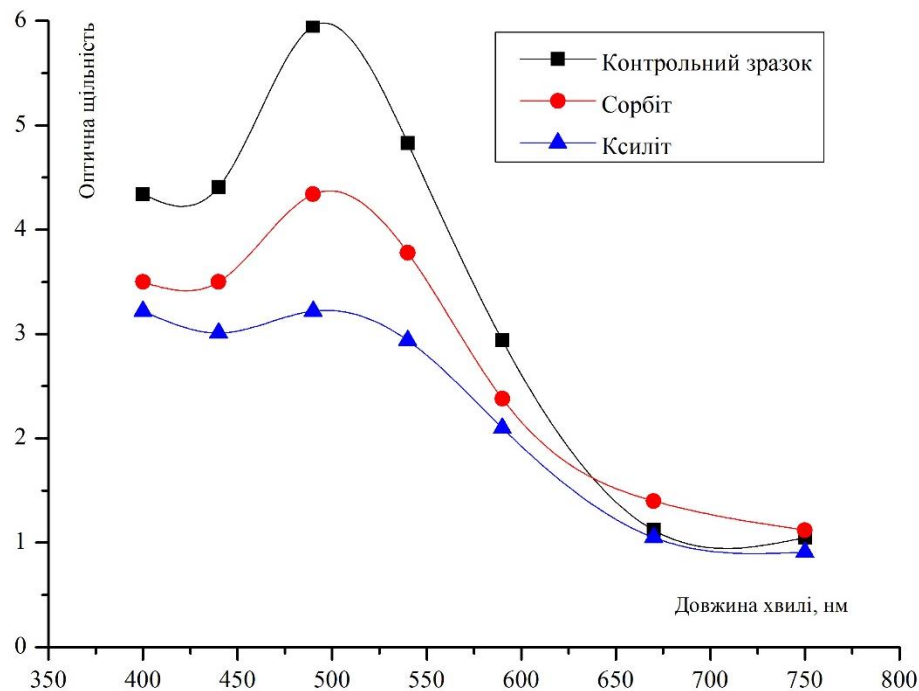


Рис. 8. Залежність оптичної густини екстрактів від концентрації розчинників: водно-сорбітовий розчин (30 % мас.), водно-ксилітовий розчин (30 % мас.) та дистильована вода (контроль)

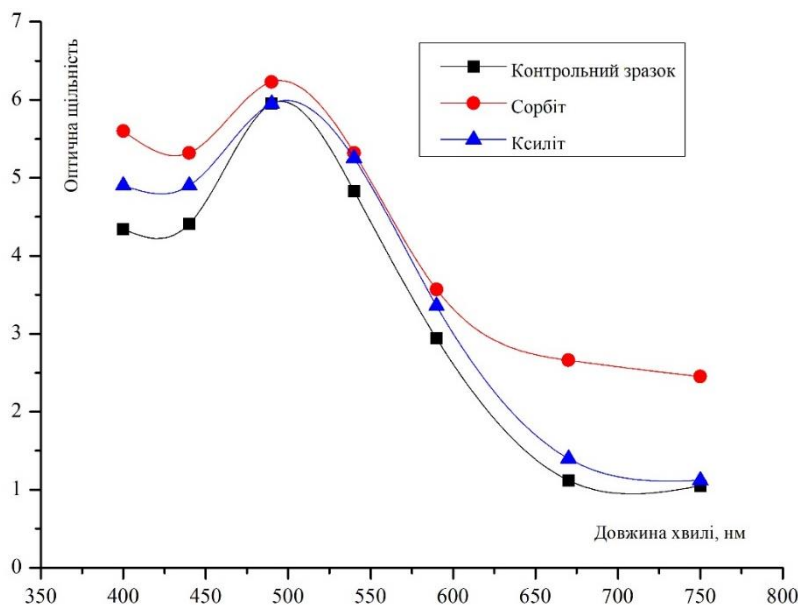


Рис. 9. Залежність оптичної густини екстрактів від концентрації розчинників: водно-сорбітовий розчин (50 % мас.), водно-ксилітовий розчин (50 % мас.) та дистильована вода (контроль)

На вісі абсцис графіків (рис. 3 – 9) представлено довжину хвилі вимірю у нанометрах (нм), яка представляє різні кольори видимого світла, від ультрафіолетового (400 нм) до інфрачервоного (750 нм).



Спектри поглинання екстрактів з вичавок бузини чорної характеризуються широким максимумом поглинання у видимій області спектра з центром у діапазоні 475-500 нм, що відповідає синьо-зеленій частині спектра. Такий характер спектрів є типовим для розчинів, що містять флавоноїди та антоціани – біологічно активні сполуки з вираженою пігментацією. Наявність інтенсивних смуг поглинання в області 400-500 нм у спектрах екстрактів підтверджує присутність цих сполук. Отримані результати свідчать про те, що сорбіт та ксиліт, завдяки здатності утворювати міцні водневі зв'язки з гідроксильними групами флавоноїдів та антоціанів, ефективно вилучають ці сполуки з рослинної сировини та стабілізують їх у розчині.

Проаналізуємо масову концентрацію барвних речовин у отриманих екстрактах, дані представлені у табл. 2.

Аналіз даних, наведених у таблиці 2, свідчить про високу ефективність використання сорбіту та ксиліту як екстрагентів для ізоляції барвних сполук. Оптимальна концентрація поліолів у водних розчинах для максимального вилучення пігментів складає 10% (мас.). При таких умовах вміст барвних речовин в екстрактах сягає 16,83 г/кг у підкисленому водно-сорбітовому розчині, 15,98 г/кг у водно-ксилітовому та 14,0 г/кг у чисто водному розчині. Подальше збільшення концентрації поліолів призводить до значного зростання

Таблиця 2

Концентрація барвних речовин у перерахунку на сірчаноокислий кобальт, г/кг

Масова частка розчинника, %	Контрольний зразок	З використанням сорбіту	З використанням етилового спирту
Контрольний зразок	14,0	-	-
1,5		14,24	14,11
2,0		14,36	14,25
5,0		15,73	15,55
10,0		16,83	15,98
15,0		15,97	14,66
30,0		14,53	14,05
50,0		9,53	7,21

Джерело: досліджено та розроблено автором

в'язкості розчинів. Це, в свою чергу, суттєво ускладнює дифузію молекул барвних речовин з твердої фази в рідку, що негативно



впливає на масоперенос та, як наслідок, знижує ефективність екстракції.

Отже, на основі проведених досліджень можна зробити висновок, що сорбіт та ксиліт збільшують вихід барвних речовин з вичавок бузини у порівнянні з дистильованою водою. Оптимальна концентрація поліолів для максимального вилучення пігментів складає 10% (мас.). Спектральний аналіз підтвердив наявність флавоноїдів та антоціанів в отриманих екстрактах. Характерні максимуми поглинання в синьо-зеленій області спектра свідчать про присутність розгалужених систем кон'югованих зв'язків, характерних для цих сполук. Збільшення концентрації сорбіту та ксиліту понад 10% (мас.) призводить до підвищення в'язкості розчину, що негативно впливає на процес масопереносу. Сорбіт та ксиліт є безпечними для здоров'я, мають низьку токсичність та широко використовуються в харчовій промисловості.

Список використаних джерел

1. Ярмош Т. А., Перцевой Ф. В. Перспективи застосування натуральних барвників рослинного походження. *III Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених* (Запоріжжя, 30 січня-24 лютого 2023 р.).
2. Ярмош Т. А., Перцевой Ф. В. Перспективи використання вичавок у виробництві натуральних барвників. *Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів і аспірантів, присвяченої Міжнародному дню студента* (13-17 листопада 2023 р.).
3. A review of polyols – biotechnological production, food applications, regulation, labeling and health effects / T. Rice et al. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019. Vol. 60, no. 12. P. 2034–2051. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1625859>.
4. *Zymomonas mobilis* as an emerging biotechnological chassis for the production of industrially relevant compounds / A. Braga et al. *Bioresources and Bioprocessing*. 2021. Vol. 8, no. 1. <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00483-2>.
5. A Systematic Review of the Effects of Polyols on Gastrointestinal Health and Irritable Bowel Syndrome. *Advances in Nutrition*. 2017. <https://doi.org/10.3945/an.117.015560>.
6. Carneiro, de Paula e Silva, Almeida. Xylitol Production: Identification and Comparison of New Producing Yeasts. *Microorganisms*. 2019. Vol. 7, no. 11. P. 484. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7110484>.
7. Söderling E., Pienihäkkinen K. Effects of xylitol chewing gum and candies on the accumulation of dental plaque: a systematic review. *Clinical*



Oral Investigations. 2021. Vol. 26, no. 1. P. 119–129. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04225-8>.

8. Natural deep eutectic solvents combined with cyclodextrins: A novel strategy for chokeberry anthocyanins extraction / M. S. Jovanović et al. *Food Chemistry*. 2023. Vol. 405. P. 134816. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134816>.

9. Application of the natural deep eutectic solvent choline chloride-sorbitol to extract chlorogenic acid and caffeine from green coffee beans (*Coffea canephora*). *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2019. Vol. 9, no. 3. P. 82–90. <https://doi.org/10.7324/japs.2019.90312>.

10. Jablonský M., Šima J. Phytomass Valorization by Deep Eutectic Solvents—Achievements, Perspectives, and Limitations. *Crystals*. 2020. Vol. 10, no. 9. P. 800.

11. Deep Eutectic Solvents Formed by Glycerol and Xylitol, Fructose and Sorbitol: Effect of the Different Sugars in Their Physicochemical Properties / L. Lomba et al. *Molecules*. 2023. Vol. 28, no. 16. P. 6023. <https://doi.org/10.3390/molecules28166023>.

12. Green extraction of phenolics and terpenoids from passion fruit peels using natural deep eutectic solvents / T. P. Vo et al. *Journal of Food Process Engineering*. 2023. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14503>.

13. Green extraction of phenolics and flavonoids from black mulberry fruit using natural deep eutectic solvents: optimization and surface morphology / T. P. Vo et al. *BMC Chemistry*. 2023. Vol. 17, no. 1. <https://doi.org/10.1186/s13065-023-01041-x>.

14. Kumar K, Srivastav S, Sharanagat VS. Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: a review. *Ultrasonics Sonochem*. 2021. Vol. 70. P.105325. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105325>.

Стаття надійшла до редакції 20.09.2024 р.

T. Yarmosh, F. Pertsevoi, T. Marenkova
Sumy National Agrarian University

**STUDY OF THE EFFICIENCY OF SORBITUM AND XYLITE
FOR THE EXTRACTION OF COLORING SUBSTANCES
FROM BLACK ELDER**

Summary

The paper presents the results of a study of the efficiency of extraction of pigments from elderberry pomace using polyols. The aim of the work was to investigate the effectiveness of extraction of coloring substances from elderberry pomace using polyols (sorbitol and xylitol). The research used black elderberry fruit pomace collected at the stage of full ripening in the Sumy region in 2023. The paper determined the physicochemical and organoleptic parameters of fresh elderberry fruits, fresh and dried



elderberry extracts. For further research, elderberry juice was dried at a temperature of $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ for 6 hours, followed by grinding to a particle size of 0.4-0.5 mm. Distilled water was used as a comparison standard. Crushed squeezes were filled with solvents in a ratio of 1:30. It was thoroughly mixed and kept at a temperature of $60 \pm 0.5^\circ\text{C}$ for 120 minutes. The optical density of solutions was determined using a KFK-2 photoelectric colorimeter in the wavelength range of 315-630 nm, a cuvette with an optical path of 10 mm. Processing of experimental data and visualization of results was carried out using OriginPro software.

The obtained spectra of extracts using acidified water-sorbitol and water-xylitol solutions showed maximum peaks in the wavelength range of 475-500 nm, which corresponds to the blue-green part of the visible spectrum. This type of spectra is typical for solutions containing flavonoids and anthocyanins - biologically active compounds with pronounced pigmentation. The presence of intense absorption bands in the region of 400-500 nm in the spectra of the extracts confirms the presence of these compounds. It was established that the optimal concentration of polyols in aqueous solutions for maximum extraction of pigments is 10% (wt.). Under these conditions, the content of dyes in the extracts is 16.83 g/kg in the acidified water-sorbitol solution, 15.98 g/kg in the water-xylitol solution, and 14.0 g/kg in the pure water solution. A further increase in the concentration of polyols leads to a significant increase in the viscosity of the solutions. This, in turn, significantly complicates the diffusion of dye molecules from the solid phase into the liquid phase, which negatively affects mass transfer and, as a result, reduces the extraction efficiency.

So, on the basis of the conducted research, it can be concluded that sorbitol and xylitol increase the yield of coloring substances from elderberry pomace compared to distilled water. The optimal concentration of polyols for maximum extraction of pigments is 10% (wt.). Spectral analysis confirmed the presence of flavonoids and anthocyanins in the obtained extracts. Characteristic absorption maxima in the blue-green region of the spectrum indicate the presence of branched systems of conjugated bonds characteristic of these compounds. Increasing the concentration of sorbitol and xylitol by more than 10% (wt.) leads to an increase in the viscosity of the solution, which negatively affects the mass transfer process. Sorbitol and xylitol are safe for health, have low toxicity and are widely used in the food industry.

Key words: natural dyes, dyes, extraction, black elderberry, pomace, anthocyanins, sorbitol, xylitol, polyols.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-22

УДК 634:664.144

І. Є. Іванова, к.с.-г.н.,

ORCID: 0000-0003-2711-2021

Л. М. Кюрчева, к.с.-г.н.

ORCID: 0000-0002-8225-3399

І. А. Кривонос, ст. викл.,

ORCID: 0000-0001-7079-5150

М. О. Філенко, студ. 3 кур.,

ORCID: 0009-0009-1015-7806

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: irynaivanova2017@gmail.com, тел.: +380979684745

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СОРТОПРИДАТНОСТІ ПЛОДОВОЇ СИРОВИНИ ДО ВИРОБНИЦТВА ЦУКАТІВ

Анотація. Плодова сировина є незамінним компонентом здорового харчування, тому що в своєму складі містить вітаміни, мінеральні речовини та має антиоксидантну активність. Однією з популярних видів плодової сировини є вишня. Тому, актуальним є не тільки пошук нових технологій її тривалого зберігання та споживання, а й критерії відбору свіжої плодової сировини для переробки на цукати. Метою досліджень було – за комплексом якісних параметрів виділити кращі сорти вишні для подальшого виготовлення цукатів у безвідходному ланцюзі використання плодової сировини. Встановлення методом багатокритеріальної оптимізації сортів вишні, придатних до виготовлення цукатів з свіжої сировини здійснювали з плодами вишні сортів «Встреча», «Ожиданіє», «Шалуня», «Сіянець Туровцевої», «Гріот Мелітопольський», «Солідарність», «Ігрушка»; «Мелітопольська пурпурна», «Модниця», «Експромт». Кращим для подальшого виготовлення цукатів виявилася плодова сировина сорту «Гріот Мелітопольський» (1 ранг) – $\varphi(X_5) = 4,72$. На підставі значень показників якості сорту вишні «Гріот Мелітопольський» визначено комплекс параметрів який дозволяє науково прогнозувати найбільшу придатність плодів до виготовлення цукатів.

Ключові слова: плоди вишні, показники якості, геометрична згортка критеріїв, варіабельність якості сировини, сорт, цукати.

Постановка проблеми. Найбільш поширеною серед кісточкових культур та традиційною для населення України є вишня. Плоди вишні мають високі смакові, лікувальні та тонізуючі властивості зі значною кількістю вітамінів, мінеральних, фенольних речовин та антоціанів, що зумовлюють їхню антиоксидантну активність [1, 2].

Широкий спектр поживних речовин обумовлює необхідність рівномірного використання в раціоні харчування плодів вишні протягом цілого року [3].



Багато сортів вишні, що створені дослідниками півдня України, перевищують Європейські аналоги за якісними характеристиками, але є швидкопсувними плодами та мають обмежений строк використання. Сорти вишні, як плодова сировина, потребують комплексної оцінки товарних та біохімічних властивостей для виділення кращих за сумою показників, що в подальшому може бути використано для оптимізації та підбору способу переробки плодів [4, 5].

Враховуючі вищенаведене, вибір кращого сорту вишні, як сировини з високою харчовою цінністю плодів, є недосконалим, тому що порівняльна оцінка відбувалась за багатьма несумірними критеріями - якісними параметрами. Це було причиною за якою неможливо розробити комплекс якісних показників плодів кращого сорту досліджуваної культури для подальшої переробки на цукати. Аналізуючи вищевикладене і приймаючи до уваги розробку безвідходного ланцюга використання плодової сировини, актуальним є визначення не тільки товарних та біохімічних параметрів, але і вміння комплексно провести порівняльну оцінку досліджуваних сортів за багатьма несумірними критеріями.

Аналіз останніх досліджень. Створення ресурсозберігаючих способів переробки плодової сировини та технологій біологічно повноцінних продуктів із доданою вартістю є одним з актуальних та пріоритетних напрямків сучасної харчової промисловості [6].

Безвідходний ланцюг використання плодів вишні передбачає вдосконалення способів зберігання та переробки плодової сировини з врахуванням їх якісного та сортового складу. За дослідженнями науковців було проаналізовано вміст біохімічних показників якості вишневої сировини. Було виділено сорти за окремими параметрами, так, за вмістом сухих розчинних речовин (17,05%) сорт «Модниця», цукрів (11,69%) – «Ожиданіє» та сорт «Солідарність» мав максимальний вміст титрованих кислот – 1,79%. Максимальні показники цукрово-кислотного індексу у діапазоні від 8,9 до 9,3 в.о. мали плоди сортів вишні «Мелітопольська пурпурна» і «Модниця» [7].

Розширений аналіз сортового складу плодів вишні було проведено українськими дослідниками та селекціонерами станції садівництва ім. М. Ф. Сидоренка [8].

Виробництво цукатів з свіжих плодів фруктів є пріоритетним напрямком розвитку харчової промисловості як в Україні, так і у світі. Такий продукт є корисним для організму людини завдяки наявності в ньому мінеральних солей, мікроелементів, пектинів, вітамінів [9].

Основним питанням при виробництві цукатів є якісні показники готового продукту, що нормуються загальними технічними вимогами



до виготовленої продукції за ДСТУ 6075:2009 Цукати Технічні умови [10]. Для отримання продукту високої якості важливим є визначення придатності сировини для виробництва цукатів [11].

Для комплексної оцінки плодових культур до зберігання та різних видів переробки було застосовано метод багатокритеріальної оптимізації [12].

З погляду на це, важливим етапом наших досліджень було наукове обґрунтування вибору сортів вишні, придатних для виробництва цукатів із максимальною харчовою цінністю та найкращими органолептичними властивостями.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою досліджень було виділити кращі сорти вишні, як сировину для подальшого виготовлення цукатів у безвідходному ланцюзі використання плодової продукції. Для реалізації мети досліджень були виконані наступні завдання:

- визначити товарні, біохімічні, органолептичні показники якості в свіжих плодах вишні досліджуваних сортів;
- визначити варіацію обраних показників якості досліджуваного періоду;
- за допомогою методу багатокритеріальної оптимізації шляхом ранжування виділити кращий сорт вишні для використання виробництва цукатів з свіжої плодової сировини;
- розробити комплекс товарних, біохімічних, органолептичних показників якості свіжих плодах вишні, що будуть оптимально придатні для виробництва цукатів.

Для визначення придатності сировини для виробництва цукатів згідно ДСТУ 6075:2009 Цукати. Технічні умови були проаналізовані біохімічні, технологічні та органолептичні параметри свіжих плодів 10 сортів вишні: «Встреча», «Ожиданіє», «Шалуня», «Сіянець Туровцевої», «Гріот Мелітопольський», «Солідарність», «Ігрушка», «Мелітопольська пурпурна», «Модниця», «Експромт».

Критеріями сорт придатності плодів вишні для виготовлення цукатів в свіжої плодової сировини були обрані наступні елементи якості: вміст сухих розчинних речовин, %; вміст цукрів, %; вміст титрованих кислот, %; вміст вітаміну С, мг на 100 г; вміст фенольних речовин, мг на 100 г; співвідношення кісточки до м'якоті, %; загальна органолептична оцінка плодів за бальною оцінкою. Визначена стабільність обраних параметрів якості свіжих плодів впродовж 12 років досліджень за її варіабельністю (V_p , %). Проаналізовано загальну варіабельність кожного досліджуваного показника якості, % [13].

Для встановлення комплексу фізико-біохімічних, органолептичних, товарних параметрів плодів кращого сорту вишні



був застосований метод багатокритеріальної оптимізації (геометрична згортка критеріїв) [14, 15].

Основна частина. Аналіз значень цільових функцій дозволив встановити ряд сортів вишні за ступенем придатності їх плодів до виготовлення цукатів зі свіжої сировини (табл. 1). Значення цільових функцій показали, що кращим для подальшого виготовлення цукатів виявився сорт «Гріот Мелітопольський» (1 ранг) – $\varphi(X_5) = 4,72$. Аналіз даних на підставі яких було отримано цільову функцію дозволив визначити комплекс товарних, біохімічних та органолептичних параметрів, який дозволяє науково прогнозувати найбільшу їх придатність до виготовлення цукатів зі свіжих плодів: початкова концентрація сухих розчинних речовин - 18,63% (V,% -17,7); цукрів – 12,19% (V,% -21,1); титрованих кислот – 1,65% (V,% -18,7); вітамін С – 8,23 мг/ 100 г (V,% -15,6); суми фенольних речовин – 193,26 мг/100 г (V,% -13,2); співвідношення маси плоду до маси кісточки - 5,21 г; сенсорна оцінка плодів - 8,7 балів. Отже, допустимий рівень варіабельності показників якості плодів вишні є середнім та становить від 13,2% до 18,7%. Винятком є висока варіабельність цукрів в плодах вишні за роки досліджень (21,1%).

Майбутній розвиток даного дослідження може передбачати спосіб підбору сортів плодової сировини та оптимізувати спосіб переробки плодів як вишні, так і інших культур після збирання у безвідходному ланцюзі переробки плодової продукції [16, 17, 18, 19, 20]. Важливо також буде розширити асортимент вишні для більш глибокого аналізу плодової сировини. Врахування сортових особливостей і строків досягання дасть можливість точніше трактувати отримані результати [21, 22, 23, 24, 25]. Крім того, розширення дослідження на інші види фруктів дозволить зробити висновки щодо можливості використання широкого асортименту плодової сировини для виробництва цукатів.

Узагальнюючі отримані експериментальні данні щодо сорт придатності свіжих плодів вишні до виготовлення цукатів можна відзначити:

сорт вишні «Гріот Мелітопольський» (1 ранг) – $\varphi(X_5) = 4,72$.

- комплекс параметрів для сортів вишні, який дозволяє науково прогнозувати найбільшу придатність плодів до виготовлення цукатів має наступні значення: початкова концентрація сухих розчинних речовин - 18,63%; цукрів – 12,19%; титрованих кислот – 1,65%; вітамін С – 8,23 мг/100 г; суми фенольних речовин – 193,26 мг/100 г;



Альтернативи, X_i	Сорт	Критерії, A_j																									
		Сухі розчинні речовини (V,%), A_1		Сухі розчинні речовини (%), A_2		Цукри, (V,%), A_3		Цукри, (%), A_4		Титровані кислоти,(V,%), A_5		Титровані кислоти,(%), A_6		Фенольні речовини, (V,%), A_7		Фенольні речовини, (мг на 100 г), A_8		Вітамі н C,(V,%), A_9		Вітамі н C,(мг на 100 г), A_{10}		Співвідношення маси плоду до маси кісточки,(%), A_{11}		Сенсорна оцінка,(балл), A_{12}		Значення цільових функцій, $f(x_i)$	Ранг
		f_1	f_1	f_2	f_2	f_3	f_3	f_4	f_4	f_5	f_5	f_6	f_6	f_7	f_7	f_8	f_8	f_9	f_9	f_{10}	f_{10}	f_{11}	f_{11}	f_{12}	f_{12}		
X_1	Крупноплідна	13,40	0,95	18,50	0,78	12,30	0,96	14,35	0,86	19,20	0,56	0,72	0,35	16,00	0,66	245,79	0,54	14,90	0,77	7,74	0,23	4,37	0,92	9,00	1,00	3,43	1
X_2	Каріна	20,90	0,13	18,21	0,67	15,70	0,67	12,53	0,33	17,70	0,89	0,65	0,22	14,00	0,79	252,17	0,60	17,70	0,36	8,33	0,37	6,89	0,50	8,40	0,60	5,88	6
X_3	Регіна	18,70	0,37	17,14	0,29	17,20	0,54	11,90	0,14	20,10	0,36	0,67	0,25	13,40	0,83	273,11	0,80	13,80	0,93	7,29	0,13	9,26	0,11	8,10	0,40	6,84	10
X_4	Міраж	19,30	0,30	18,67	0,67	19,30	0,37	13,89	0,72	19,30	0,53	0,68	0,27	20,70	0,37	209,73	0,19	14,00	0,90	10,67	0,89	7,50	0,40	8,40	0,60	5,77	5
X_5	Удівительна	18,50	0,39	18,63	0,82	21,08	0,21	13,03	0,47	20,00	0,38	1,00	0,90	11,10	0,97	288,55	0,95	17,30	0,42	7,58	0,20	3,53	1,06	8,90	0,93	4,30	2
X_6	Зодіак	14,80	0,79	17,00	0,24	18,40	0,40	13,40	0,50	19,80	0,45	0,62	0,25	11,20	0,96	272,95	0,80	15,20	0,72	9,60	0,65	6,25	0,61	8,70	0,80	4,88	3
X_7	Сюрприз	19,00	0,34	17,91	0,57	17,11	0,55	13,43	0,59	18,70	0,67	0,62	0,16	26,03	0,238	238,34	0,47	18,20	0,29	8,10	0,31	7,73	0,36	8,70	0,80	6,87	11
X_8	Колхозниця	21,50	0,07	17,82	0,53	21,00	0,21	12,64	0,36	20,00	0,38	0,74	0,39	16,40	0,64	238,84	0,47	15,80	0,64	7,85	0,26	8,59	0,22	8,00	0,33	7,49	12
X_9	Космічна	16,30	0,63	17,70	0,49	20,72	0,24	13,55	0,62	19,40	0,51	0,63	0,18	11,70	0,93	246,87	0,55	17,90	0,33	8,95	0,50	9,44	0,08	8,80	0,87	6,06	7
X_{10}	Празднична	13,70	0,91	16,82	0,18	19,30	0,36	12,73	0,39	19,20	0,56	0,59	0,10	18,10	0,53	225,34	0,34	19,70	0,07	10,25	0,79	5,16	0,79	8,40	0,60	6,38	8
X_{11}	Анонс	21,60	0,05	17,62	0,46	21,20	0,20	12,36	0,28	20,70	0,22	0,66	0,24	16,00	0,66	195,04	0,05	19,30	0,13	8,20	0,34	6,09	0,63	8,50	0,67	8,07	13
X_{12}	Темпуріон	18,70	0,37	18,33	0,72	23,00	0,04	12,82	0,41	14,50	1,60	0,63	0,18	16,20	0,65	202,06	0,12	18,70	0,22	7,72	0,23	7,74	0,36	8,50	0,67	6,44	9
X_{13}	Меотіда	15,90	0,67	18,41	0,74	19,60	0,33	14,05	0,77	21,20	0,11	0,70	0,31	13,40	0,83	256,49	0,64	18,10	0,30	8,03	0,30	6,74	0,53	8,80	0,87	5,59	4
	f_j^-	12,90		16,32		11,80		11,40		17,20		0,54		10,60		190,00		13,30		6,69		3,87		7,50			
	f_j^+	22,10		19,13		23,50		14,85		21,70		1,05		26,70		293,60		20,20		11,17		9,94		9,00			
	$f_j(x^0)$				1		1		1		1		1		1		1	1			1		1		1	$f_j(x_i)=0$	
	f_j^{omm}	12,9 (min)		19,13 (max)		11,8 (min)		14,85 (max)		17,2 (min)		1,05 (max)		10,6 (min)		293,6 (max)		13,3 (min)		11,17 (max)		3,87 (min)		9 (max)			

- кращим для подальшого виготовлення цукатів виявилися плоди співвідношення маси плоду до маси кісточки - 5,21 г; сенсорна оцінка плодів - 8,7 балів. Допустимий рівень варіабельності показників якості плодів вишні є середнім та становить від 13,2% до 18,7%. Винятком є висока варіабельність цукрів в плодах вишні за роки досліджень (21,1%).

Список використаних джерел

1. Васи́лишина О. В., Посто́ленко Є. П. Зміни біохімічних показників плодів вишні залежно від сорту та способу заморожування. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 1. С. 18–27.
2. Сало І. А. Ринок кісточкових плодів в Україні та світі. *Економічний часопис ХХІ*. 2012. Вип. 12(2). С. 24–27.



3. Шульга О. К., Петухова Т. А., Моїсєєва Г. М., Рижих А. С. Маркер загального стану здоров'я людини – вітамін «С». *Молодий вчений*. 2018. №2(54). С. 56–62.
4. Шкіндер-Барміна А. М. Формування та вивчення колекції вишні (*Cerasus vulgaris* mill.) Мелітопольської дослідної станції садівництва для визначення селекційно цінних зразків. *Генетичні ресурси рослин*. 2020. № 26. С. 71–80.
5. Шкіндер-Барміна А. М. Адаптивний потенціал сортів вишні і дюків (*Cerasus Vulgaris* Mill.) у південному степу України. *Садівництво*. 2014. Вип. 68. С. 80 –84.
6. Секторальна експортна стратегія 2019–2023: Харчова і переробна промисловість України. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. URL: <https://me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=515d8680-59af-417d-b782-ebbe388f3dd3&title=SektoralnaEksportnaStrategiiaKharchovaIPererobnaPromislovistUkraini-doslidzhennia-Ukrainskoiiu> (дата звернення 24.08.2024).
7. Іванова І. Є., Сердюк М. Є., Шкіндер-Барміна Г. М., Кривонос І. А. Вплив абіотичних чинників на формування смакових якостей плодів вишні. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2020. Вип. 96, ч. 1. С. 416–432.
8. Шкіндер-Барміна А. М. Товарні якості та біохімічний склад плодів сортів вишні і дюків в умовах південного Степу України. *Вісник Степу*. 2015. Вип.12. С. 104–107.
9. Жукова В. Ф., Тарасенко В. Г., Кюрчева Л. М. Удосконалення технології гарбузових цукатів з використанням кандидування в сиропі з гранатових вичавок. *Новачії в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв*: матеріали II міжн. наук.-практ. інтернет-конф. (Мелітополь, 23 лист. 2021 р.). Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 193-196.
10. ДСТУ 6075:2009 Київ Держспоживстандарт України 2010 Видання офіційне Технічні умови Національний стандарт України БЗ № 11–2006/737 Ц.
11. Спосіб виробництва цукатів з вишні: пат. 155517 Україна: МПК А23L 21/12. № u202303847; заявл. 11.08.2023; опубл. 07.03.2024, Бюл. № 10.
12. Іванова І., Сердюк М., Герасько Т., Білоус Е., Кривонос І. Вибір сорту черешні з оптимальним комплексом параметрів за методом багатокритеріальної оптимізації. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 9, т. 1. С. 56.
13. Сердюк М. Є., Прісс О. П., Гапріндашвілі Н. А., Іванова І. Є. Дослідницький практикум. Ч.1. Методи дослідження плодоовочевої та ягідної продукції. Мелітополь: Люкс, 2020. 364 с.



14. Іванова І. Є., Білоус Е. С., Покопцева Л. А., Єременко О. А. Багатокритеріальна оптимізація показників якості плодів черешні українсько селекції при заморожуванні та зберіганні. *Таврійський науковий вісник*. 2017. № 99. С. 76–82.

15. Іванова І. Є., Покопцева Л. А. Вибір оптимального сорту черешні для швидкого заморожування і тривалого зберігання методом багатокритеріальної оптимізації та економічна ефективність заморожених сортосразків згідно ряду ранжування. *Таврійський науковий вісник*. 2015. Вип.93. С. 44–50.

16. Chiabrando V., Garavaglia L., Giacalone G. The postharvest quality of fresh sweet cherries and strawberries with an active packaging system. *Foods*. 2019. Vol. 8(8). P. 335.

17. Conte A., Scrocco C., Lecce L., Mastromatteo M., Nobile M. A. D. Ready-to-eat sweet cherries: Study on different packaging systems. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2009. Vol. 10. P. 564–571.

18. Ladanyi M., Vegvari G., Toth M. Mathematical modelling of the accumulation of carbohydrates and organic acids throughout the ripening process of Hungarian sour cherry cultivars. *Trees*. 2015. Vol. 29(3). P. 797–807.

19. Lakatos L., Dussi M.C., Szabo Z. The influence of meteorological variables on sour cherry quality parameters. *Acta horticulturae*. 2014. № 1020. P. 287–292.

20. Revell J. Sensory profile and consumer acceptability of sweet cherries. UK: University of Nottingham. 2009. URL: <http://eprints.nottingham.ac.uk/10931> (дата звернення 20.09.2024).

21. Tomadoni B., Pereda M., Moreira M.R., Ponce A. Chitosan edible coatings with geraniol or vanillin: a study on fresh-cut strawberries microbial and sensory quality through refrigerated storage. *Food Science and Nutrition Technology*. 2019. Vol. 4(3). e000178.

22. Usenik V., Fabcic J., Stampar F. Sugars, organic acids, phenolic composition and antioxidant activity of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Food Chemistry*. 2008. Vol. 107. P. 185–192.

23. Українець А. І., Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Перспективні технологічні процеси виробництва нових продуктів та дієтичних добавок. Київ: НУХТ, 2018. 335 с.

24. Найченко В. М., Заморська І. Л. Технологія зберігання і переробки плодів та овочів. Умань: Сочінський, 2010. 328 с.

Бублик М. О. Зональне районування вишні і сливи в Україні. *Сад, виноград і вино України*. 2002. № 9. С. 20–24.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2024 р.



I. Ivanova, L. Kiurcheva, I. Kryvonos, M. Filenko
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

**THE MULTICRITERIA OPTIMISATION METHOD APPLICATION
FOR DETERMINING THE SUITABILITY OF FRUIT RAW MATERIALS
FOR CANDIED FRUIT PRODUCTION**

Summary

Fruit raw materials are an indispensable component of a healthy diet, as they contain vitamins, minerals and have antioxidant activity. One of the most popular types of fruit raw materials is sour cherries. Therefore, it is important not only to search for new technologies for its long-term storage and consumption, but also to select criteria for the selection of fresh fruit raw materials for processing into candied fruit. The production of candied fruit from fresh fruit is a priority for the food industry in Ukraine and globally. This product is beneficial for the human body due to the presence of mineral salts, trace elements, pectin, vitamins. The aim of the research was to identify the best cherry varieties for further production of candied fruit in a non-wasteful chain of fruit raw materials using a set of quality parameters. The cherry varieties suitable for candied fruit production from fresh raw materials were determined by the method of multicriteria optimisation using sour cherry fruits of the varieties «Vstriecha», «Ozhydaniie», «Shalunia», «Siianets Turovtsevoi», «Hriot Melitopolskyi», «Solidarnist», «Ihrushka», «Melitopolska purpurna», «Modnytsia», «Eksprompt». The best for further production of candied fruits was fruit raw material of the variety «Hriot Melitopolskyi» (1st rank) - $\varphi(X_5) = 4,72$. Based on the values of the quality indicators of the cherry variety «Hriot Melitopolskyi», a set of parameters was determined that allows us to predict scientifically the greatest suitability of fruits for candied fruit production. Future development of this research could include a method for selecting varieties of fruit raw materials and optimizing the way in which both cherries and other crops are processed after harvest in a waste-free fruit processing chain. It will also be important to expand the range of cherries for a deeper analysis of fruit raw materials.

Key words: sour cherry fruit, quality indicators, geometric convolution of criteria, variability of raw material quality, variety, candied fruit.



ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-23

УДК 620.9:696.6

О. Ю. Юрченко¹, ст. викл.,

ORCID: 0000-0002-3047-6654

Г. В. Барсукова¹, к.т.н, доц.,

ORCID: 0000-0002-4261-2182

М. О. Романенко², майст. вир. навч.

¹Сумський національний аграрний університет

²ДНЗ «Сумське міжрегіональне вище професійне училище»

e-mail: aleksyurchenko110917@gmail.com, тел.: 096-610-67-82

ФУНКЦІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ПРОВІДНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ ПРИ МОНТАЖІ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА РЕМОНТІ ЕЛЕКТРОПРИСТРОЇВ

Анотація. Якісне виконання монтажних робіт є можливим за умови використання сучасного обладнання та інструменту. Проводячи паралелі з тим інструментом, яким фахівці користувалися кілька десятиліть тому, та тим, що використовують зараз, стає зрозумілим значний крок вперед з точки зору комфорту для персоналу та порівняно більш якісного виконання завдань. В даній статті представлено аналіз функціональних особливостей кількох інструментів для підготовки провідників до монтажу. Серед таких інструментів: знімачі ізоляції, бокорізи, кліщі, ніж зі зйомними тощо. Встановлено, що порівняно якісний монтаж є можливим за використання професіонального інструменту, у тому числі багатофункціонального. Комплексний підхід в виконанні усіх належних операцій дає можливість отримання провідників з наконечниками необхідних форми, розмірів та конфігурації.

Ключові слова: знімач ізоляції, бокорізи, кліщі, ніж зі змінними лезами, кримпери, обтискний інструмент, монтаж, ремонт, провідники, наконечники, діаметр перерізу, якість.

Постановка проблеми. Дотримання необхідної якості при виконанні монтажних та ремонтних робіт вимагає від власника або персоналу комплексного підходу. Такий підхід базується одночасно і на використанні сучасного професіонального інструменту, і матеріалів, якість і функціональні завдання якого є виправданими за часом та умовами користування.

Якщо розглядати окремо кожен з категорій якісного монтажу, то до інструменту, яким забезпечується даний процес, можна віднести:



- використання автоматизованого обладнання;
- використання обладнання з автономним живленням;
- комплексний багатофункціональний інструмент;
- засоби перевірки та діагностування електричних кіл.

Матеріали для виконання монтажних робіт різняться за призначенням, типом, марками виробника, вартістю тощо. Якщо говорити про тематику даної публікації, то такими матеріалами є провідники електричного струму у вигляді проводів, а також різних форми та розмірів наконечники. Використання останніх значно покращує якість виконання монтажних робіт, надає змонтованому щиту керування порівняно естетичного вигляду, а персоналу – значно комфортніші умови при виконанні безпосередньо затискання провідників в тих чи інших контактах електричних пристроїв.

Ще одним порівняно важливим аспектом в використанні наконечників є їх різновиди в кольорах. Це дає можливість виконання провідників силового кола та кола керування з різного кольору наконечниками або взагалі різнити за кольорами кожен з фазних та нульових провідників.

Актуальність використання інструменту для підготовки провідників є цілком виправданою з точки зору якості виконання функціональних завдань, а також зосередження кількох функцій в одній одиниці електротехнічного інструменту.

Аналіз останніх досліджень. Якісний монтаж електрообладнання є можливим з використанням різного обладнання, у тому числі і засобів автоматизації технологічного процесу [1]. Опресування клем на жилах проводів має вирішальне значення у системі передачі електроенергії. Покращення опресованих з'єднань полягає в можливості знизити опір струму через клема, знизити втрати потужності, іскри та перегрів у з'єднаннях [2].

Опресування наконечників на жилах проводів вважається найважливішою частиною в процесі передачі електроенергії. Неправильна конструкція збільшуватиме опір струму через клема та викликати такі проблеми, як втрата потужності, іскри та нагрівання у з'єднанні [3]. За рахунок згаданої технології підготовки проводу до монтажу в роботі [4] визначено прогалини в дослідженнях та перешкоди для стійкого підвищення рівня автоматизації у виробництві. По-перше, у статті класифікується високовольтний джгут проводів у загальному контексті електромобіля, потім описуються сучасні виробничі процеси та аналізується, де бере початок складність виробництва компонента. Вибрані результати опитування виявляють перешкоди для подальшої автоматизації, тоді



як огляд існуючих рішень з автоматизації показує де складність можна контролювати вже сьогодні. На основі огляду методів підвищення ефективності виробництва визначено прогалини в дослідженнях, які вимагають поглибленого дослідження для досягнення більш високого рівня автоматизації у виробництві високовольтного автомобільного джгута проводів.

Сьогоднішній процес виробництва автомобільних джгутів проводів має на увазі великий обсяг ручної роботи. Однак поточні та майбутні вимоги до програм, такі як мініатюризація електронних компонентів, моніторинг параметрів процесу, зростання попиту на документацію процесу та зростання заробітної плати, вимагають більш високого ступеня автоматизації [5]. У цій статті [5] представлено сучасний стан складання джгутів проводів, розглянуто спеціальні машини та обладнання, а також їх обмеження, і висвітлено проблеми автоматизації. У ній обговорюються можливості автоматизації, поточні інновації та дослідження, а на закінчення наводиться огляд поточних тенденцій в автомобільній промисловості. Порівняння методів збирання джгутів проводів показує, що роботизовані осередки навряд чи будуть економічними для типових джгутів, що використовуються в промисловості [6]. Проектування виробів для простоти складання роботом може бути єдиним рішенням, щоб зробити роботизований осередок економічним.

Різного роду електростанції та їх складові компоненти через своє застосування піддаються впливу найсуворіших зовнішніх наземних середовищ. Більшість устаткування безпосередньо піддається впливу навколишнього середовища і незліченних стресів (мікро- і макросередовища). Інші аспекти, включаючи місцеві умови на майданчику, мінливість та якість будівництва, а також методи технічного обслуговування, також впливають на ймовірність таких небезпек. Багато дискретних компонентів, включаючи модулі, дроти, роз'єми, пристрої керування проводами, розподільні коробки, захисні пристрої, інвертори та трансформатори, становлять систему генерації. Тому, дуже важливо розуміти типові матеріали, що використовуються в компонентах, процеси деградації та механізми, що призводять до відмови компонентів, а також їх вплив на продуктивність чи відмову системи [7]. В черговий раз підтверджено необхідність використання наконечників та правильної підготовки провідників перед процесом монтажу.

Подані результати в дослідженні [8] показують, що провідниками є можливість збільшення максимальної пропускної здатності струму на 5–14 % в залежності від типу провідника, що розглядається, та умов експлуатації. Оцінка характеристик різних електричних



провідників, як за нормального стану, так і надпровідних є актуальним завданням [9-11]. Протягом усього часу провідники повинні працювати в безпечному та безвідмовному стані з найбільшою пропускну здатністю струму [12]. Використання провідників, указаних в роботі [13], дає можливість легко виготовляти датчики з чудовою чутливістю та повторюваністю. Високопродуктивні та надійні з'єднання між провідниками та/або покриттями відіграють необхідну та надзвичайно важливу роль у виготовленні надпровідних пристроїв. Тому розробка стабільних з'єднань та досягнення низького опору з'єднання стали важливою проблемою [14-15].

Формулювання мети статті. За мету в даному дослідженні обрано проведення аналізу функціональних особливостей інструменту для підготовки провідників до монтажу. До такого інструменту віднесено:

- знімач ізоляції автоматичний Dnipro-M KS-26E PRO, 3 в 1;
- інструмент для зняття ізоляції проводів E.NEXT;
- прес-кліщі механічні HS-04WF;
- бокорізи;
- ніж зі змінними лезами.

Тому, перед дослідженням поставлено такі завдання:

- проаналізувати функціональні особливості зазначеного інструменту;
- визначити найбільш оптимальний склад групи інструменту;
- зробити висновки щодо ефективності використання представленого інструменту, порівнюючи його між собою.

Основна частина. Отримання високої якості провідника полягає як в його провідності, так і в пригодності до монтажу. Звичайно, оголений провідник, який не оснащено наконечником також є можливість монтувати і, скажімо, це не відіграє ролі на його провідності. Однак, з точки зору правильності і зручності монтажу, провідник, оснащений наконечником або клемою, має свої переваги. В правилах монтажу електропроводок указано, що наконечники опресовуються на кілька жил провідника або на одну жилу проводу, при цьому забезпечуючи надійну комутацію для електричного кола. При цьому в діючих правилах указано, що з'єднання кабелю шляхом скручування не дозволяють. Найкращим варіантом, визнаним електриками, вважається з'єднання зварюванням, опресуванням, гільзи, клемники, ковпачки. Крім того, у вимогах ПУЕ та інших нормативних документів щодо електропроводок в цивільних будівлях указано, що при виконанні монтажу електропроводки необхідним вважається дотримання колірного позначення проводів з метою

полегшення монтажу, з'єднань і ремонту. З метою якісного відображення фаз за кольорами є можливість використання не лише провідників різного кольору, а і наконечників на таких провідниках.

Аналіз функціональних особливостей інструменту, зображеного на рис. 1, доцільно проводити з точки зору розмежування кожної з окремо узятих функцій:

- перерізання проводу;
- зачистка проводу;
- опресування проводу.

Основні механізми інструменту, якими виконуються функціональні задачі, зображено нижче, на рис. 2. Слід зауважити, для знімача ізоляції автоматичного Dnipro-M KS-26E PRO виокремлено одразу 3 робочі основні механізми. Пов'язано це з трьома основними функціями даного інструменту.

Функціонально, перерізання провідника є можливість виконувати різними з представлених інструментів. Однак, один із них виконує дану функцію разом з іншими функціями, а інший – не має можливості мати в собі одразу кілька функцій.

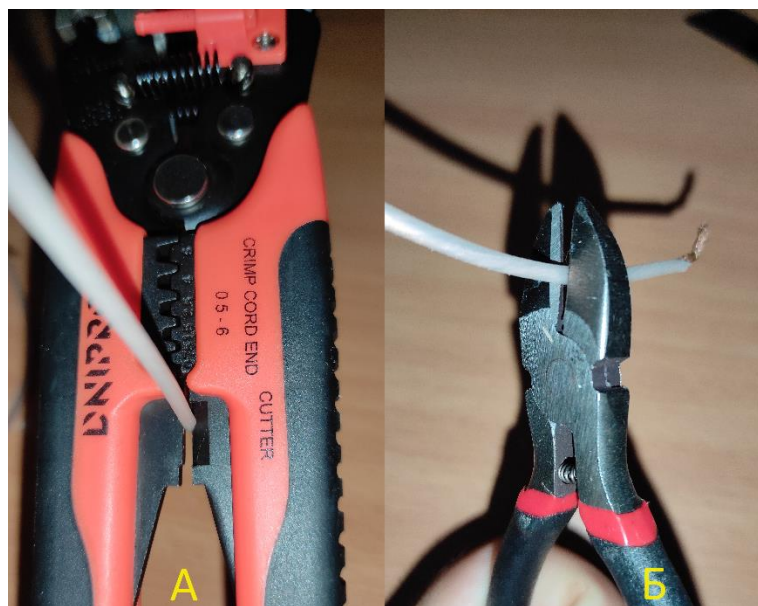


Рис. 1. Інструмент для підготовки провідників



А - знімач ізоляції автоматичний Dnipro-M KS-26E PRO; Б - прес-кліщі механічні HS-04WF; В - інструмент для зняття ізоляції проводів E.NEXT

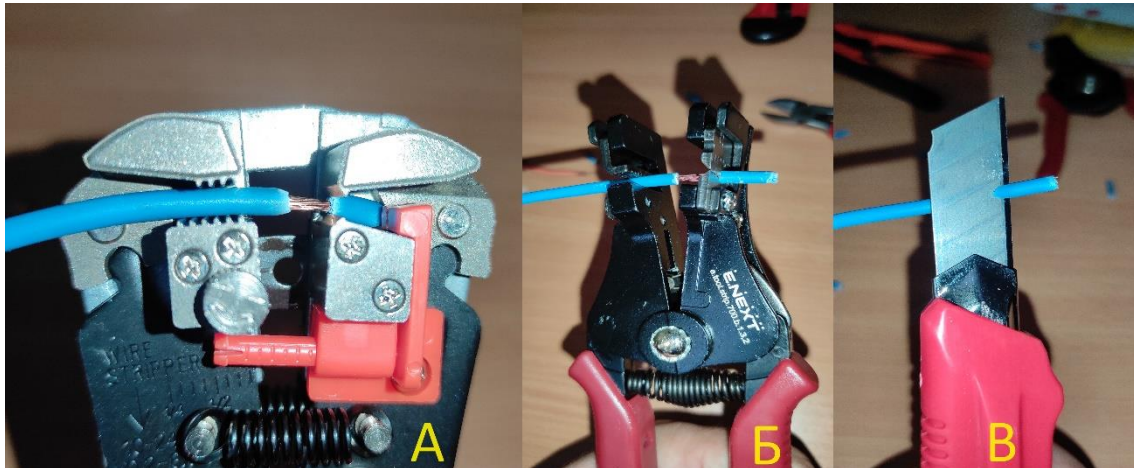
Рис. 2. Робочі механізми інструменту



А - знімач ізоляції автоматичний Dnipro-M KS-26E PRO; Б - бокори́зи
Рис. 3. Функція перерізання проводу.

Функція зачищення проводу, тобто зняття ізоляції, є також обов'язковою при монтажі та складанні певних схем керування. Якщо вести мову щодо обов'язкового або необов'язкового опресовування провідників, це питання є спірним для певної кількості електриків. У випадку зняття ізоляції – така функція є обов'язковою.

Нижче, на рис. 4, зображено виконання такої функції одразу трьома інструментами. Останній із них – ніж зі змінними лезами, є традиційним для цього інструментом протягом довгого часу. Однак, сучасні технології дають можливість використання порівняно зручнішого з великою кількістю регулювання інструменту.

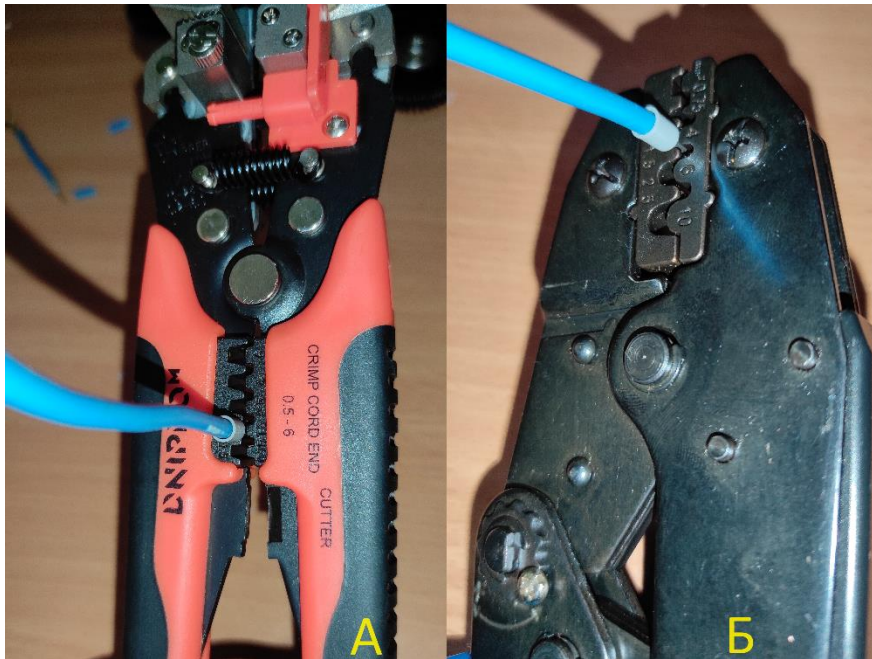


А - знімач ізоляції автоматичний Dnipro-M KS-26E PRO; Б - інструмент для зняття ізоляції проводів E.NEXT; В – ніж зі змінними лезами

Рис. 4. Функція зняття ізоляції з провідника.

Остання з перерахованих функцій – опресовування проводу. Як було указано вище, серед багатьох електриків така функція щодо виконання є спірною. Однак, за правилами, указаними вище, вона значно покращує якість виконання монтажу.

Аналізуючи функціональні особливості указаних інструментів, функцію опресовування проводу можна покласти на два із указаних п'яти. Першим із них є автоматичний знімач ізоляції Dnipro-M KS-26E PRO з поєднанням одразу трьох функцій. Другим - прес-кліщі механічні HS-04WF. Слід зауважити, що останній з переліченого інструмент і поєднує в собі дану основну функцію, маючи, як і автоматичний знімач ізоляції вибір в перетині провідника для опресовування наконечників.



А - знімач ізоляції автоматичний Dnipro-M KS-26E PRO; Б - прес-кліщі механічні HS-04WF

Рис. 5. Функція опресовування проводу

Загалом, отримані провідники не відрізняються якістю монтажу (рис. 6). Це стосується як використання професіонального інструменту 3 в 1 Dnipro-M KS-26E PRO, так і окремо бокорізів, знімача ізоляції та прес-кліщів. Необхідно лише підкреслити зручність виконання операцій перерахованим інструментом при знятті ізоляції, порівнюючи з використанням ножа зі змінними лезами. За рахунок використання останнього значно збільшуються затрати часу на виконання функції зняття ізоляції.



Рис. 6. Отримані провідники

В результаті, набір інструментів для підготовки провідників до монтажу є можливою схематично зобразити у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1

Набір інструментів для підготовки провідника		
Функція	Інструмент	
	Технологія 1	Технологія 2
Перерізання провідника		бокори́зи
Зняття ізоляції	знімач ізоляції автоматичний Dnipro-M KS-26E PRO, 3 в 1	інструмент для зняття ізоляції проводів E.NEXT/ ніж зі змінними лезами
Опресування проводу		прес-кліщі механічні HS-04WF

Висновки. Ефективність використання сучасного інструменту є цілком виправданою. В даній роботі підтверджено ефективність використання професіонального багатофункціонального інструменту для підготовки провідників до монтажу. Встановлено, що за рахунок використання одного, але багатофункціонального інструменту, є можливість виконання повної технології підготовки проводу для монтажу в електричний щит керування.

Список використаних джерел

1. Юрченко О. Ю., Барсукова Г. В., Чепіжний А. В., Тимошенко Г. А. Монтаж електрообладнання і систем керування. Монтаж щитів керування електричними двигунами: навч.-метод. посібник для здобувачів освіти 2, 1 с.т. курсів спеціальності: «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» інженерно-технологічного факультету денної та заочної форми навчання, СВО «бакалавр». Суми: СНАУ, 2023. 144 с.
2. Rajak A. K., Kore S. D. Numerical simulation and experimental study on electromagnetic crimping of aluminium terminal to copper wire strands. *Electric Power Systems Research*. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.08.014>.
3. Rajak A. K., Kore S. D. Experimental investigation of aluminium–copper wire crimping with electromagnetic process: Its advantages over conventional process. *Journal of Manufacturing Processes*. 2017. Vol. 26. P. 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.01.009>.
4. Olbrich S., Lackinger J. Manufacturing Processes of automotive high-voltage wire harnesses: State of the art, current challenges and fields of action to reach a higher level of automation. *Procedia CIRP*. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.041>.
5. Trommnau J., Kühnle J. U., Siegert J., Inderka R. B., Bauernhansl T. Overview of the State of the Art in the Production Process



of Automotive Wire Harnesses, Current Research and Future Trends. *Procedia CIRP*. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.067>.

6. Aguirre E., Ferrière L., Raucent, B. Robotic assembly of wire harnesses: Economic and technical justification. *Journal of Manufacturing Systems*. 1997. Vol. 16. P. 220–231. [https://doi.org/10.1016/S0278-6125\(97\)88890-5](https://doi.org/10.1016/S0278-6125(97)88890-5).

7. Lokanath S. V., Skarbek B., Schindelholz E. J. Degradation Processes and Mechanisms of PV Wires and Connectors. Durability and Reliability of Polymers and Other Materials in Photovoltaic Modules. 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811545-9.00009-4>.

8. Riba J., Liu Y. & Moreno-Eguilaz M. Analyzing the role of emissivity in stranded conductors for overhead power lines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2024.110027>.

9. Sumption M. D., Murphy J. P., Susner M. A. & Haugan T. J. Performance metrics of electrical conductors for aerospace cryogenic motors, generators, and transmission cables. *Cryogenics*. 2020. Vol.111. P. 103171. <https://doi.org/10.1016/j.cryogenics.2020.103171>.

10. Turck B. Effect of the respective positions of filament bundles and stabilizing copper on coupling losses in superconducting composites. *Cryogenics*. 1982. Vol. 22. P. 466-468. [https://doi.org/10.1016/0011-2275\(82\)90131-X](https://doi.org/10.1016/0011-2275(82)90131-X).

11. Barnes P. N., Sumption M. D. & Rhoads G. L. Review of high power density superconducting generators: Present state and prospects for incorporating YBCO windings. *Cryogenics*. 2005. Vol. 45. P. 670-686. <https://doi.org/10.1016/j.cryogenics.2005.09.001>.

12. B. Smyrak. Analysis of the quality of aluminum overhead conductors after 30 years of operation. *Engineering Failure Analysis*. 2023.e107600. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.e107600>.

13. Liu X., Sun L., Dong C., Wang J., Chang G., Liang J., Zhu Z., Xia Y., Jin L. & Gao H. Stretchable conductors based on nanoporous Ag for flexible sensors. *Composites Communications*. 2024. e101887. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2024.101887>.

14. Huang Z., Tan Y., He R., Xie Y., Wang G., Wei J., Wang Y. & Wu Q. Study on the Electrical Performances of Soldered Joints between HTS Coated-Conductors. *Cryogenics*. 2022. e103422. <https://doi.org/10.1016/j.cryogenics.2022.103422>.

15. Queral V., Cabrera S., Rincón E., Barbarias E., Santos F. & Gutierrez J. M. Embedded conductors in solidified molten metal for winding packs for high-field stellarators. *Fusion Engineering and Design*. 2023. e113495. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2023.113495>.

Стаття надійшла до редакції 29.07.2024 р.



O. Yurchenko¹, H. Barsukova¹, M. Romanenko²

¹Sumy National Agrarian University

²State educational institution «Sumy inter-regional higher professional school»

FUNCTIONAL INDIVIDUAL TOOL FOR PREPARING ELECTRICAL TOOL WIRES DURING INSTALLATION OF ELECTRICAL EQUIPMENT AND REPAIR OF ELECTRICAL APPLIANCES

Summary

Compliance with the required quality during installation and repair work requires a comprehensive approach from the owner or staff. This approach is based simultaneously on the use of modern professional tools and materials, the quality and functional tasks of which are justified by the time and conditions of use. Materials for installation work differ by purpose, type, manufacturer's brands, cost, etc. If we talk about the topic of this publication, such materials are conductors of electric current in the form of wires, as well as tips of various shapes and sizes. The use of the latter significantly improves the quality of installation work, gives the assembled control panel a relatively aesthetic appearance, and the personnel - much more comfortable conditions when performing direct clamping of conductors in certain contacts of electrical devices. High-quality performance of installation work is possible with the use of modern equipment and tools. Drawing parallels with the tool that specialists used a few decades ago and what they use now, it becomes clear a significant step forward in terms of comfort for personnel and comparatively better performance of tasks. This article presents an analysis of the functional features of several tools for preparing conductors for installation. Such tools include: insulation strippers, side cutters, pliers, knives with removable blades, etc. It has been established that a relatively high-quality installation is possible with the use of a professional tool, including a multifunctional one. A comprehensive approach in the performance of all appropriate operations makes it possible to obtain conductors with tips of the required shape, size and configuration. The effectiveness of using a modern tool is fully justified. The advantages of carrying out installation work with the pressing of conductors are presented. This work confirms the effectiveness of using a professional multifunctional tool for preparing conductors for installation. It was established that due to the use of one, but multifunctional tool, it is possible to perform a complete technology of wire preparation for installation in an electrical control panel.

Key words: insulation stripper, side cutters, pliers, knife with interchangeable blades, crimpers, crimping tool, installation, repair, conductors, tips, cross-section diameter, quality.



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

УДК 537.29:631.53

І. І. Сілі, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-6603-2174

О. Ю. Азархов, д.м.н.

ORCID: 0000-0003-2085-4786

Б. В. Єфременко, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-0438-6433

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

e-mail: sili_i_i@pstu.edu, тел.: +380961500078

РОЛЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ У КОМУНІКАЦІЇ РОСЛИН І ЗАПИЛЮВАЧІВ

Анотація. У роботі досліджено роль електричних полів у комунікації між рослинами та їхніми запилювачами, зокрема комахами. Встановлено, що квіткові рослини генерують слабкі електричні поля, які впливають на поведінку запилювачів, таких як бджоли та джмелі. Запилювачі здатні сприймати ці поля за допомогою спеціальних рецепторів, що дозволяє їм ефективніше визначати наявність нектару та пилку. Електричні поля також полегшують процес запам'ятовування оптимальних квіток і сприяють підвищенню точності вибору під час збору ресурсів. Вплив електричних сигналів сприяє підвищенню врожайності та підтриманню біорізноманіття. Результати досліджень підкреслюють важливість електричних полів у складних екологічних взаємодіях між рослинами та їхніми запилювачами, забезпечуючи стабільність природних екосистем.

Ключові слова: квітка, рослина, запилення, комаха, бджола, джміль, нектар, електричне поле, потенціал.

Постановка проблеми. Рослини та запилювачі відіграють ключову роль у функціонуванні екосистем та підтриманні біорізноманіття. Запилення, яке є одним з основних механізмів репродукції рослин, що забезпечує поширення генетичного матеріалу і є критично важливим для відтворення видів. Водночас, ефективність цього процесу часто залежить від взаємодії між рослинами та запилювачами, яка може бути обумовлена різними фізіологічними та хімічними сигналами. Традиційно вивчення комунікації рослин із запилювачами зосереджувалося на вивченні ароматів, кольорів та форми квітів. Однак нещодавні дослідження показують, що електричні поля, які створюються навколо квіткових структур, також можуть відігравати важливу роль у цій взаємодії.

Електричні поля є важливою, але досі недостатньо дослідженою складовою комунікації між рослинами та їхніми запилювачами. У природі кожен організм, включаючи рослини і комах, оточений слабким електричним полем, яке може взаємодіяти з іншими



електричними полями в оточенні. Квіти мають здатність накопичувати електричні заряди, що створює певну різницю потенціалів між ними та запилювачами, такими як бджоли. Бджоли, маючи позитивно заряджене тіло через тертя з повітрям під час польоту, здатні відчувати електричні поля, які генеруються квітами. Це дозволяє їм не лише знаходити джерела нектару, а й визначати, чи була квітка вже відвідана іншим запилювачем, що оптимізує їх поведінку при зборі їжі.

Дослідження електричних взаємодій між рослинами і запилювачами відкриває нові перспективи в розумінні тонкощів цього процесу. Зокрема, існує припущення, що такі взаємодії можуть відігравати ключову роль у підвищенні ефективності запилення в умовах зміни клімату і зменшення чисельності комах-запилювачів. Крім того, дослідження механізмів, через які електричні поля впливають на комунікацію, може сприяти розробці нових технологій у сільському господарстві, спрямованих на оптимізацію процесів запилення та підвищення врожайності.

Аналіз останніх досліджень. Квіти виробляють різноманітні сигнали та для приваблення комах запилювачів. Різноманітність квіткових сигналів охоплює складні відтінки та візерунки кольорів, текстуру пелюсток, ароматичні речовини, локальну вологість повітря та ехолокаційні відбитки. Вплив квіткових сигналів на поведінку запилювачів досліджувався у [1], проте нові квіткові сигнали все ще під питанням. У [2] виявлено, що мультимодальні квіткові сигнали покращують як ефективність збирання їжі запилювачами, так і процес запилення, що сприяє збільшенню кількості насіння та плодів.

Літаючі комахи, включаючи запилювачів, таких як медоносні бджоли, зазвичай мають позитивний електричний потенціал. У той же час квіти часто мають негативний потенціал. Електричні поля, що виникають внаслідок цієї різниці потенціалів між квітами та комахами, сприяють перенесенню та адгезії пилку на коротких відстанях. Більше того, ці поля змінюються залежно від стану запилення квітки, оскільки осідання пилку і відповідне запилення змінюють електричний потенціал квітки.

Проте використання електричних полів запилювачами як інформативних сигналів досі не повністю досліджено. У складному світі взаємодії рослин і запилювачів будь-який сигнал, що підвищує ефективність запилення та збору їжі, має бути взаємовигідним. У статті [3] розглянуто, що джмелі здатні виявляти і навчатися використовувати квіткові електричні поля та їх структурні варіації для оцінки винагороди та розрізнення квітів.

Електростатика займається електричними силами, між електронами та іонами, а також пов'язаними з ними електричними

полями та потенціалами. Під час електростатичного заряджання електрони залишаються відносно нерухомими, розподіляючись по поверхні об'єкта та концентруючись на гострих краях. Об'єкт стає електростатично зарядженим або внаслідок додавання до нього електронів, що робить його «негативно» зарядженим, або внаслідок видалення електронів, що робить його «позитивно» зарядженим. Заряди одного знаку відштовхуються, а протилежних знаків притягуються. Електростатична сила між двома зарядженими тілами (F) описується рівнянням (1) Кулона [4]:

$$F = k_e \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} \quad (1)$$

де: F — це сила взаємодії між зарядами,

k_e — електростатична стала (близько $8,99 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$),

q_1, q_2 — значення зарядів двох тіл,

r — відстань між центрами заряджених тіл.

Електростатичні взаємодії відіграють важливу роль у різних біологічних процесах, включаючи запилення рослин як у природі, так і в сільському господарстві [5].

Зазвичай рослини мають невеликі негативні поверхневі заряди за умов ясної погоди, тому вони оточені електричними полями низької інтенсивності [6]. За нестабільних погодних умов, таких як хмарний або дощовий день, електричні поля можуть змінювати свою полярність, і поверхневі заряди стають позитивними [7]. Величина електричних полів частково залежить від хімічного складу рослини, її висоти та навколишнього середовища [8]. Розподіл електричного поля навколо рослини варіюється залежно від її форми, і електричні поля рослини мають бути найсильнішими біля гострих точок (рис.1), таких як кінчики рослин, включаючи квітки [1].

Бджоли, що збирають нектар, зазвичай мають електрично позитивні поверхневі заряди [9]. Коли бджола летить у повітрі, вона стикається з потоком зарядженого повітря, і її тіло заряджається електростатичною фрікційною електрикою [10]. У [11] припустили, що у випадку комах, які збирають пилок, накопичення пилку на поверхнях комах та його розповсюдження покращуються завдяки силам притягання між позитивно зарядженою поверхнею тіла комах та загалом негативно зарядженою рослиною з її пилком.

Stanley та Linskens у [12] припустили, що хоча немає доказів на підтримку думки про те, що електропотенціальні градієнти між пилком, який переноситься комахами, і приймочками квітів беруть участь у запиленні, можливо, що на транспортування пилку на великі

відстані до квіток впливають електричні взаємодії. Декілька дослідників у різних галузях вивчення запилення повідомляли про можливу участь електростатики в природних механізмах запилення.

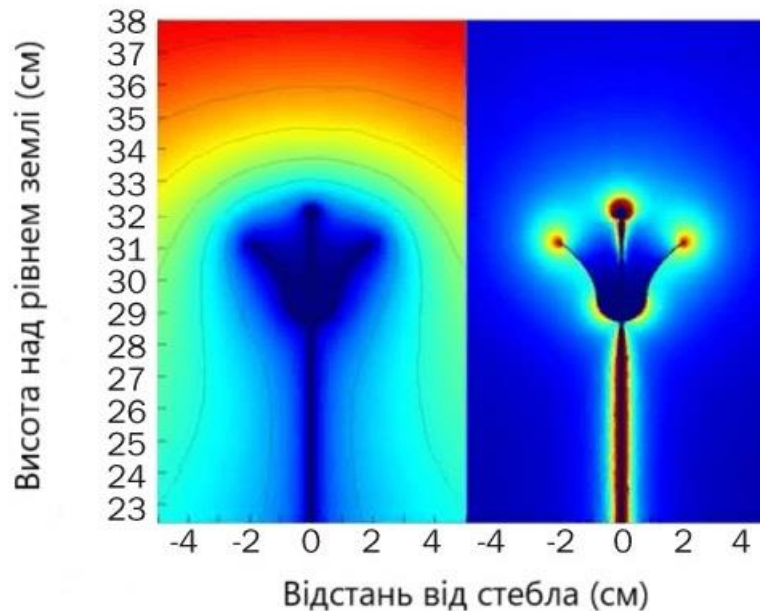


Рис. 1. Розподіл напруженості електричного поля квітки у навколишньому просторі (В/м)

Згодом було висунуто припущення, що пилкові зерна, рухаючись у повітрі, набувають сильного позитивного заряду і таким чином електростатично притягуються до негативно заряджених квіток, зосереджених на кінчиках рослин, яких вони досягають [1]. Таким чином, разом із повітряним потоком, електростатичне притягання могло б утворити ефективний механізм для захоплення пилку анемофільними рослинами [4]. Однак більшість повідомлень про можливу участь статичної електрики в запиленні вітром є спекулятивними, оскільки дуже важко відрізнити аеродинамічні та електростатичні сили, що впливають на напрямок руху пилкових зерен до приймочки.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою наукової статті є проведення комплексного аналізу останніх досліджень, присвячених ролі електричних полів у комунікації між рослинами і запилювачами. Публікація має на меті узагальнити сучасні знання про механізми взаємодії електричних полів рослин і комах-запилювачів та виявити ключові закономірності, що визначають вплив електричних полів на поведінку запилювачів під час пошуку їжі.

Основна частина. Електричні взаємодії між бджолою і квіткою виникають через заряд, який несе бджола, та потенціал квітки

стосовно атмосферного електричного поля. Щоб кількісно визначити заряд бджоли, окремих робочих бджіл тренували залітати в клітку Фарадея, яке містило нагороду у вигляді сахарози [2]. Загальний заряд q , який несе бджола, вимірювався за допомогою індукованої напруги на відкаліброваному конденсаторі. Під час вимірювань, проведених на 51 особині, було виявлено, що 94% бджіл мали позитивний заряд, а 6% — негативний ($q_{mean} = 32 \pm 5$ pC). Ці результати підтвердили попередні вимірювання на медоносній бджолі *Apis mellifera* [2] і встановили, що більшість бджіл, які літають в навколишньому середовищі, мають позитивний заряд (рис.2), який при певних умовах може бути переданий іншим об'єктам.

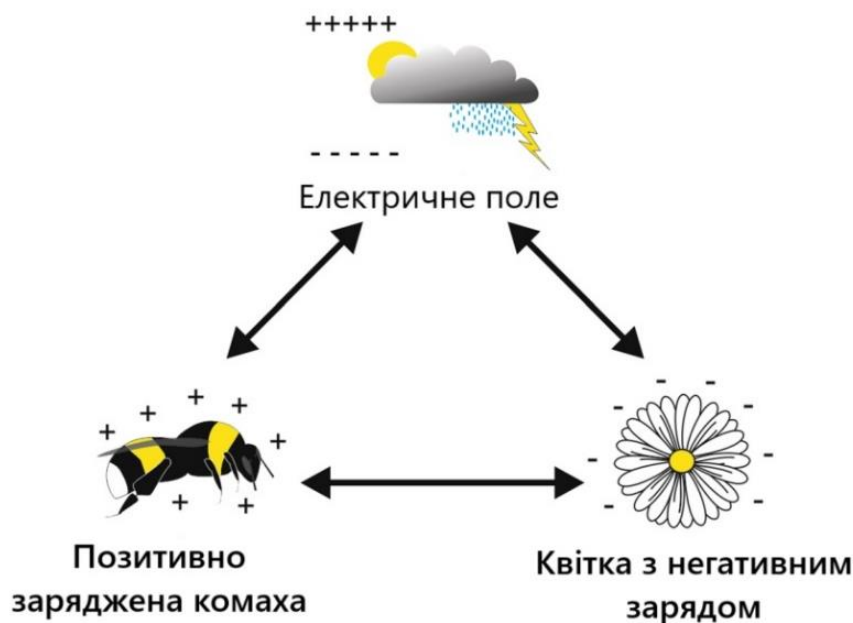


Рис. 2. Принцип заряджання комахи-запилювача та квітки у навколишньому природному електричному полі.

Електричну взаємодію між бджолою і квіткою досліджували далі, розмістивши квіти в навколишньому середовищі з вільно літаючими бджолами, що збирали нектар. Електричний потенціал у стеблах рослини був записаний для оцінки електричного сигналу, створеного під час наближення та приземлення окремої зарядженої бджоли. Передача заряду квітці призводила до позитивної зміни електричного потенціалу, зафіксованого в стеблі.

Приземлення 50 особин призвело до середньої зміни потенціалу, яка тривала приблизно 30 секунд і досягала піку близько 8 ± 1 мВ (рис. 3). Така зміна перевищує природні коливання у разі відсутності бджіл і триває довше, ніж перебування бджоли на квітці. Зміна потенціалу часто починається ще до контакту з бджолою, на рис. 3 це координата ~ 11 сек, яка свідчить про те, що це не просто варіація

потенціалу, а пряма електростатична індукція між зарядженою бджолою і заземленою квіткою, як припускалося у [7].

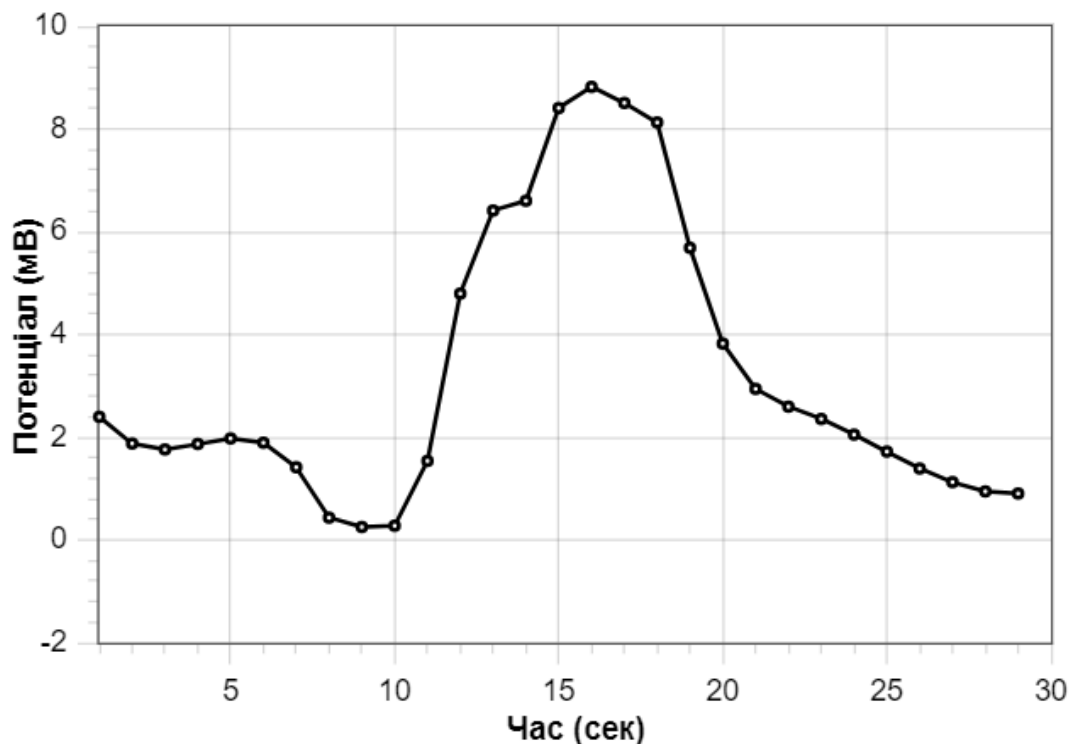


Рис. 3. Зміна потенціалу квітки (мВ) при наближенні позитивно зарядженої комахи-запилювача.

Оскільки електричний потенціал квітки безпосередньо впливає на запилення та відвідування бджіл, він потенційно містить інформацію для інших запилювачів щодо квіткових ресурсів. Відвідувачі-запилювачі впливають на квіткові сигнали безпосередньо, залишаючи сліди (запахи) на поверхні пелюсток або ініціюючи зміни в інших квіткових сигналах, таких як колір, форма та вологість. Такі зміни зазвичай відбуваються протягом хвилин або годин. Зміна ж потенціалу, спричинена відвідуванням бджоли, відбувається в межах секунд.

Щоб електричне поле квітки могло діяти як сигнал, запилювачі повинні мати можливість виявляти його та відрізнити від загального навколишнього фону. У роботі [3] використали спеціальне навчання, щоб перевірити здатність бджіл розрізняти штучні квіти з різними електричними полями. Штучні квіти складалися з сталевого диска діаметром 35 мм і товщиною 1,5 мм, декорованого фіолетовим епоксидним шаром.

Половина таких квітів була підтримана при звичній біологічно постійній напрузі 30В. Ця напруга була обрана як середнє значення для електричного поля ізолюваної квітки висотою 30 см у нормальному атмосферному електричному полі з градієнтом 100 В/м.

Заряджені квіти пропонували запилювачам нагороду у вигляді сахарози, тоді як інші ідентичні квіти були заземлені і мали нейтральний потенціал (0В).

Штучні квіти не відрізнялися в жодному іншому відношенні. Протягом 50 відвідувань бджіл було зафіксовано збільшення відносної кількості відвідувань нагороджувальних заряджених квітів (Рис. 4). Під час останніх 10-ти відвідувань штучні квіти з зарядом у 30В досягли точності $71 \pm 2\%$. Обидва типи квіток були потім заземлені, і тест на вибір продовжено [3].

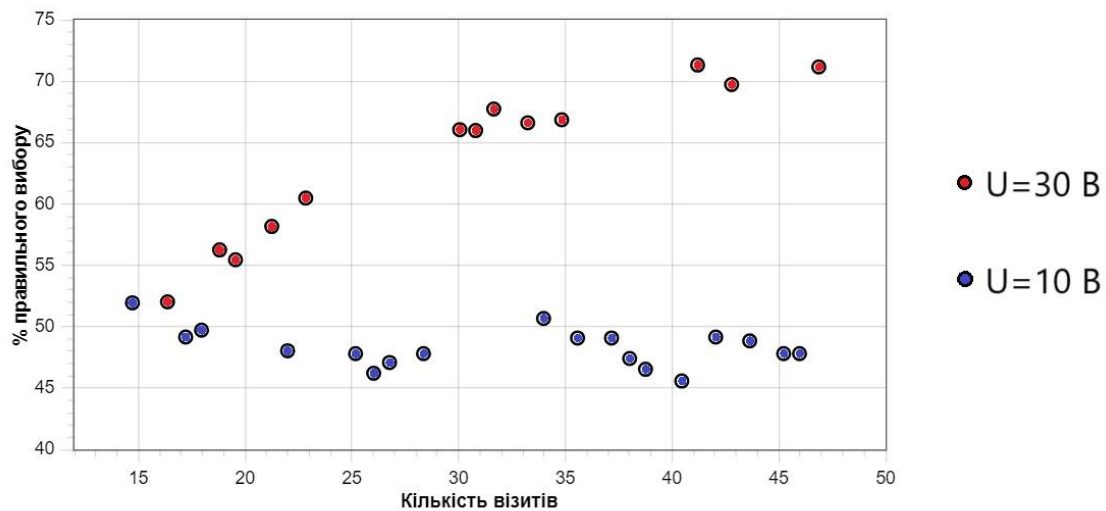


Рис. 4. Відсоток правильного вибору запилювачів нагороджувальних квітів при наведеному потенціалі квітки $U=30$ В (червоний колір) та $U=10$ В (синій колір)

Квіткові сигнали різноманітні і відповідають мультимодальному сприйняттю запилювачів. Взаємодіючи, квіткові сигнали підвищують ефективність збору їжі. Сигнали кольору залежать від відтінку, від контрасту між відтінками та від їх геометричних візерунків. Нектарні направляючі є такими візерунками, надаючи інформацію, що приваблює запилювачів і полегшує їх зусилля при зборі їжі. Подібним чином, геометрія квіткових електричних полів може містити додаткову інформацію, важливу для запилювачів.

Квіткові сигнали можуть працювати як індивідуально, так і в доповнюючому режимі. Коли сигнали подані разом, мультимодальні сигнали підвищують точність сенсорної інформації, яку використовують медоносні бджоли. Зокрема, асоціація кольору з ольфакторними квітковими сигналами зменшує сприйняття невизначеності, пов'язаної з окремим квітковим сигналом, і збільшує здатність бджіл розрізняти винагороджувальні стимули [8].

Результати дослідження [3] показують, що електричне поле є одним з сигналом для комах запилювачів. Додаючи до різноманітного



квіткового відображення, орієнтованого на органи чуття запилювачів, електричні поля покращують як швидкість, так і точність, з якою бджоли навчаються та розрізняють винагороджувальні квіти. Таким чином, чутливість до електричних полів є потенційно важливою сенсорною модальністю, яку слід розглядати поряд з зором і нюхом. Універсальність електричних полів у природі та їх інтеграція в сенсорну екологію бджіл свідчать про те, що електричні поля відіграють досі недооцінену роль у взаємодіях між рослинами та комахами. Це дослідження піднімає можливість зворотного інформаційного обміну між рослинами та запилювачами в часових масштабах від мілісекунд до секунд, що значно швидше, ніж раніше описані зміни в квіткових запахах, кольорі чи вологості.

В іншому дослідженні [13] доведено, що джмелі, *Bombus terrestris* і медоносні бджоли, *Apis mellifera*, здатні виявляти слабкі електричні поля, кожен у різних поведінкових контекстах, використовуючи різні сенсорні механізми. Джмелі можуть відчувати присутність слабких електричних полів, що оточують квіти, і розрізняти електрополя з різною радіальною геометрією [13]. Сенсорна основа для виявлення електрополя у джмелів, схоже, залежить від механосенсорних волосків, які механічно відхиляються під впливом прикладеного електричного стимулу. Механічне відхилення цих волосків, у свою чергу, викликає нервові реакції, передаючи інформацію до центральної нервової системи комах. Використовуючи лазерну доплерівську віброметрію відхилення серії спинних волосків у відповідь на прикладені електричні поля показує колективну чутливість [13].

Джмелі також можуть використовувати електричну інформацію для розрізнення квітів [7]. Вони також можуть швидше навчатися розрізненню кольорів, коли кольорові підказки поєднуються з електричними полями, подібними за величиною до тих, що оточують природні квіти. По суті, джмелі навчалися не так охоче в електрично нейтральному середовищі.

Сенсорна основа електрорецепції у медоносних бджіл, за гіпотезою, полягає в антенах, які електромеханічно пов'язані з навколишнім електричним полем завдяки тому, що бджоли електрично заряджені і, таким чином, піддаються дії електростатичних сил. Трансдукція цих сил, як передбачається, відбувається в органі Джонстона, розташованому в антенах. Greggers та ін. [13] продемонстрували, що антени медоносних бджіл коливаються під дією електричних стимулів, і це збудження може викликати активність в антенному нерві. Також було показано, що бджоли з видаленими або зафіксованими антенами менш здатні асоціювати харчову винагороду з електричними стимулом у класичній

парадигмі умовного рефлексу. Під час дослідження сенсорної основи електрорецепції у джмелів було виявлено, що електромеханічна чутливість (тобто швидкість і кутове зміщення у відповідь на електричні стимули) волосків джмелів значно вища, ніж у їхніх антен. Чутливість цих волосків до різноманітних стимулів була зареєстрована у порівнянні з антенами тих самих джмелів. Було показано, що волоски рухаються з приблизно на порядок більшою швидкістю та на 3–4 порядки більшим кутовим зміщенням, ніж антени, у широкому діапазоні частот. Пікова реакція волосків зазвичай спостерігалася на частотах стимулу між 2 і 4 кГц, що узгоджується з їх малою масою та високою жорсткістю. Мінімальне електричне поле, необхідне для викликання вимірюваних відхилень волосків, становило від 0,77 до 61 В/м залежно від частоти стимулу. Антени потребували більших мінімальних значень поля від 15,3 до 306 В/м. Позаклітинні записи від основи волосків у 15 окремих джмелів показали збільшення нервової активності у відповідь на електричні стимули навіть при низьких частотах (<1 Гц) [13].

Висновки. Проведений аналіз підтверджує гіпотезу про те, що електричні поля відіграють важливу роль у процесі взаємодії між рослинами та їхніми запилювачами. Рослини створюють слабкі негативні електричні поля навколо своїх квіток, і ці поля можуть бути сприйняті запилювачами, такими як бджоли, комахи та інші. Завдяки цим полям, запилювачі здатні швидше і точніше визначати стан нектару та кількість пилку, що впливає на їхню поведінку і вибір. Електричні сигнали допомагають комахам краще розрізняти квітки та запам'ятовувати ті, які містять більше ресурсів для живлення. Таким чином, електричні поля сприяють підвищенню ефективності процесу запилення та оптимізації взаємодії між рослинами та запилювачами.

Враховуючи все вищезазначене, можна стверджувати, що електричні поля є невід'ємною складовою системи комунікації між рослинами та запилювачами, що сприяє більш ефективному і точному процесу запилення, підвищуючи врожайність і сприяючи біорізноманіттю в природних екосистемах.

Список використаних джерел

1. Clarke D., Morley E., Robert D. The bee, the flower, and the electric field: electric ecology and aerial electroreception. *J Comp Physiol*. 2017. Vol. 203. P. 737–748. <https://doi.org/10.1007/s00359-017-1176-6>.
2. Clarke D., Whitney H., Sutton G., Robert D. Detection and learning of floral electric fields by bumblebees. *Science (New York, N.Y.)*. 2013. Vol. 340(6128). P. 66-69. <https://doi.org/10.1126/science.1230883>.



3. Dominic Clarke. Detection and Learning of Floral Electric Fields by Bumblebees. *Science*. 2013. Vol. 340. P. 66-69. <https://doi.org/10.1126/science.1230883>.
4. Eckardt H. The resonant Coulomb and Ampere-Maxwell law. *UFT paper*. 2020. P. 440.
5. Sutton Gregory P., Clarke Dominic, Morley Erica L., Robert Daniel. Mechanosensory hairs in bumblebees (*Bombus terrestris*) detect weak electric fields. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 113, Is. 26. P.7261–7265. <https://doi.org/10.1073/pnas.1601624113>.
6. Whitney H. M. Floral iridescence, produced by diffractive optics, acts as a cue for animal pollinators. *Science*. 2019. Vol. 323. P. 130.
7. Vaknin Y., Gan-Mor S., Bechar A., Ronen B., Eisikowitch D. The role of electrostatic forces in pollination. *Plant Syst. Evol.* 2020. Vol. 222. P. 133.
8. Bowker G. E., Crenshaw H. C., Electrostatic forces in wind-pollination. Part 1: Measurement of the electrostatic charge on pollen. *Atmos. Environ.* 2017. Vol. 41. P. 1587. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.10.048>.
9. Leonard A. S., Papaj D. R., 'X' marks the spot: The possible benefits of nectar guides to bees and plants. *Funct. Ecol.* 2011. Vol. 25. P. 1293. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2011.01885.x>.
10. Spikes, Hugh A. Triboelectrochemistry: Influence of applied electrical potentials on friction and wear of lubricated contacts. *Tribology Letters*. 2020. Vol. 68. P. 1-27. <https://doi.org/10.1007/s11249-020-01328-3>.
11. Sahil Lalljith, Ismail Fleming, Umeshan Pillay, Kiveshen Naicker, Zachary Jose Naidoo, Akshay Kumar Saha. Applications of flower pollination algorithm in electrical power systems: a review. *IEEE Access* 2021. Vol. 10. P. 8924-8947. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3138518>.
12. Stanley R. G., Linskens H. F. Pollen: Biology, biochemistry, management. Heidelberg, Germany: *Springer Verlag*. 2016.
13. Benjamin H. Paffhausen, Julian Petrasch, Uwe Greggers, Aron Duer et. all The electronic bee spy: eavesdropping on honeybee communication via electrostatic field recordings. *Frontiers in Behavioral Neuroscienc.* 2021. T. 15. P. 647224. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2021.647224>.

Стаття надійшла до редакції 11.09.2024 р.



I. Sili, O. Azarkhov, B. Yefremenko
Pryazovskyi State Technical University

THE ROLE OF ELECTRIC FIELDS IN PLANT-POLLINATOR COMMUNICATION

Summary

Plants and pollinators play a key role in the functioning of ecosystems and maintaining biodiversity. Pollination, which is one of the primary mechanisms of plant reproduction, ensures the spread of genetic material and is critical for species reproduction. At the same time, the effectiveness of this process often depends on the interaction between plants and pollinators, which can be influenced by various physiological and chemical signals. Traditionally, the study of plant-pollinator communication has focused on examining scents, colors, and flower shapes. However, recent research shows that electric fields created around floral structures may also play an important role in this interaction.

Electric fields are an important yet still under-researched component of communication between plants and their pollinators. In nature, every organism, including plants and insects, is surrounded by a weak electric field that can interact with other electric fields in the environment. Flowers have the ability to accumulate electric charges, creating a potential difference between them and pollinators such as bees. Bees, having positively charged bodies due to friction with the air during flight, can sense the electric fields generated by flowers. This ability allows them not only to locate nectar sources but also to determine whether a flower has already been visited by another pollinator, optimizing their foraging behavior.

Flying insects, including pollinators such as honeybees, usually have a positive electric potential. At the same time, flowers often have a negative potential. The electric fields generated due to this potential difference between flowers and insects contribute to the transfer and adhesion of pollen over short distances. Moreover, these fields change depending on the state of the flower's pollination, as pollen deposition and subsequent pollination alter the electric potential of the flower.

Electric interactions between a bee and a flower occur due to the charge carried by the bee and the flower's potential relative to the atmospheric electric field. To quantitatively determine the charge of a bee, individual worker bees were trained to enter a Faraday cage, which contained a reward in the form of sucrose. The total charge carried by the bee was measured using the induced voltage on a calibrated capacitor.

The results of the study show that the electric field is one of the signals for pollinating insects. In addition to the diverse floral displays oriented toward the sensory organs of pollinators, electric fields enhance both the speed and accuracy with which bees learn and distinguish rewarding flowers.

Key words: flower, plant, pollination, insect, bee, bumblebee, nectar, electric field, potential.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-25

УДК 620.92:658.5

М. І. Бабич, к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-1295-4162

В. М. Боярчук, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-2192-0143

С. В. Коробка, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-4717-509X

В. В. Пташник, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-1018-1138

Львівський національний університет природокористування

e-mail: m.babych@ukr.net, тел.: +380977635832

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЛЕКСНИХ ПРОЄКТІВ З ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

Анотація. У статті розглянуто особливості впровадження комплексних проєктів з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики. Проаналізовано стан та перспективи використання відновлюваних джерел енергії і гідроенергетики в Україні та світі. Розглянуто особливості використання комплексних проєктів відновлюваної енергетики для енергозабезпечення споживачів. Запропоновано алгоритм обґрунтування системи комплексного проєкту з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики, який дозволяє врахувати системні взаємозв'язки між складовими проєкту. Запропоновані критерії ефективності для оптимізації параметрів системи та виділено чотири основні її стадії розвитку.

Ключові слова: проєкт, енергетична безпека, гідроенергетика, відновлювані джерела енергії, ефективність.

Постановка проблеми. Енергетична безпека є однією з найважливіших складових безпеки будь-якої країни та зачіпає явища і процеси не тільки енергетичної системи, але і економіки [7; 12]. Вона визначається як захищеність громадян і держави в цілому від загроз дефіциту всіх видів енергії та енергоресурсів, що виникають через вплив негативних природних і техногенних, соціально-економічних, внутрішньо- і зовнішньополітичних чинників [11]. Для забезпечення енергетичної безпеки, у зв'язку з загрозами закінчення викопних палив, глобального потепління і інших подібних викликів сучасності, в тому числі і військових конфліктів, країни світу змушені оперативно змінювати структуру енергетичного сектору. На сьогодні спостерігаємо два основні напрями – скорочення загального енергоспоживання за рахунок впровадження енергоефективних заходів та технологій і заміна традиційних енергоносіїв відновлюваними джерелами енергії. Сьогодні більшість країн розробляють і реалізують плани та стратегії щодо покриття своїх



енергетичних потреб від 50 % до 100 % за рахунок відновлюваних джерел енергії [4, 10, 14, 15].

Щодо України, де через бойові дії виведено з експлуатації або зруйновано до 50% енергетичної інфраструктури, застосування відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики є на сьогодні актуальним напрямком стабілізації рівня забезпечення України електроенергією, і вимагає планування та реалізації відповідних проєктів [5, 6]. Для успішної реалізації проєктів відновлюваної енергетики необхідно розробити відповідні методики обґрунтування і алгоритми їх впровадження. З огляду на це, робота, присвячена даному питанню є важливою і актуальною.

Аналіз останніх досліджень. Огляд літератури щодо енергозабезпечення споживачів за рахунок впровадження відновлюваних джерел енергії свідчить про належне опрацювання даної теми [9, 14, 15]. Проте, мало досліджень присвячених створенню та управлінню комплексних проєктів для підвищення рівня енергетичної безпеки. Проєкти відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики не розглядаються, як єдине ціле [22, 23, 25]. А для розв'язання задач на різних етапах застосовувались підходи, не поєднані єдиною методологією, що унеможливлює об'єктивне оцінення ефективності таких проєктів [13, 17].

Формулювання мети статті. Метою даного дослідження є розроблення алгоритму впровадження комплексних проєктів з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати особливості використання відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики для підвищення рівня енергетичної безпеки;
- визначити основні складові системи комплексних проєктів з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики та їх взаємовплив на загальну ефективність такого проєкту;
- розробити методику впровадження комплексних проєктів.

Основна частина. У грудні 2015 року відбулась Паризька Угода за участю представників 195 країн, яка є основою нової ери боротьби зі зміною клімату на землі. Зокрема погоджено домовленість учасників про обмеження глобального потепління до 2 °С, та докласти усіх зусиль, щоб не перевищити потепління на 1,5 °С. Єдиним шляхом для досягнення зазначених цілей, є перехід на відновлювану енергетику та поступову відмову від традиційних видів палива [18, 19].

На сьогоднішній день в усьому світі помітно чітку тенденцію поступового заміщення традиційних видів палива відновлюваними джерелами енергії [20, 21]. Найпотужнішими виробниками



електроенергії з відновлюваних джерел є 7 країн, сумарні потужності яких складають 470 ГВт – 71,5 % світового виробництва: Китай, США, Німеччина, Італія, Іспанія, Японія, Індія [15, 16, 24].

З кожним роком відбувається приріст встановленої потужності об'єктів відновлюваної енергетики в Україні. Станом на січень 2022 року встановлена потужністю джерел відновлюваної енергетики сукупно становила 9,5 ГВт, а загальні інвестиції в галузь склали біля 12 млрд доларів США. Нажаль війна внесла свої корективи, про що свідчить той факт, що в областях де відбуваються бойові дії розміщено біля 50% електростанцій на відновлюваних джерелах енергії. Тому інвестори сьогодні не вкладають кошти у відновлювану енергетику, чекаючи на стабілізацію ситуації. Така ситуація є неприйнятною для України, яка через військові дії агресора постійно втрачає генеруючі потужності електростанцій, що становить велику загрозу для системи електрозабезпечення споживачів.

Важливо і надалі впроваджувати проекти відновлюваної енергетики, враховуючи те, що рівень освоєння потенціалу відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики все рівно залишається на досить низькому рівні. Для прикладу потенціал малих річок Карпатського регіону освоєно лише на 7 % – 20 МВт з доступних 275 МВт.

Насамперед необхідний науковий супровід впровадження комплексних проєктів з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики, що передбачає розробку наукових методів для підвищення ефективності відповідних проєктів.

Використання відновлюваних джерел для енергозабезпечення споживачів має свої характерні особливості, з яких основною є наявність стохастичності вихідного параметра (характеристик вітрової, сонячної, гідроенергії тощо), і нерівномірності його коливань протягом сезону [2]. З означених джерел стабільнішим є гідроенергія. Однак її показники теж змінюються протягом сезону (посухи, замерзання), і якщо враховувати використання гідроенергії малих річок без застосування гребель, і інших водозабірних споруд загрозливих для навколишнього середовища через підтоплення територій, то ефективніше використовувати комбіновано з іншими відновлюваними джерелами. Комбіноване використання джерел енергії дозволяє зменшити нерівномірність виробництва електроенергії. Використання того чи іншого відновлюваного джерела в комбінованій системі, а також його частка, залежить від багатьох чинників – місцевості, умов експлуатації, замовника проєкту тощо. Для обґрунтування оптимальних параметрів такої комбінованої системи, необхідно системно дослідити усі її складові та визначити їх

взаємовплив на загальну ефективність проєкту з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики [3, 8].

Для обґрунтування параметрів системи комбінованого проєкту з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики запропоновано розроблений алгоритм (рис. 1). В процесі обґрунтування параметрів системи виділено чотири основні її стадії розвитку: невідпорядкована реальна система, віртуальна система, впорядкована віртуальна система, впорядкована реальна система.

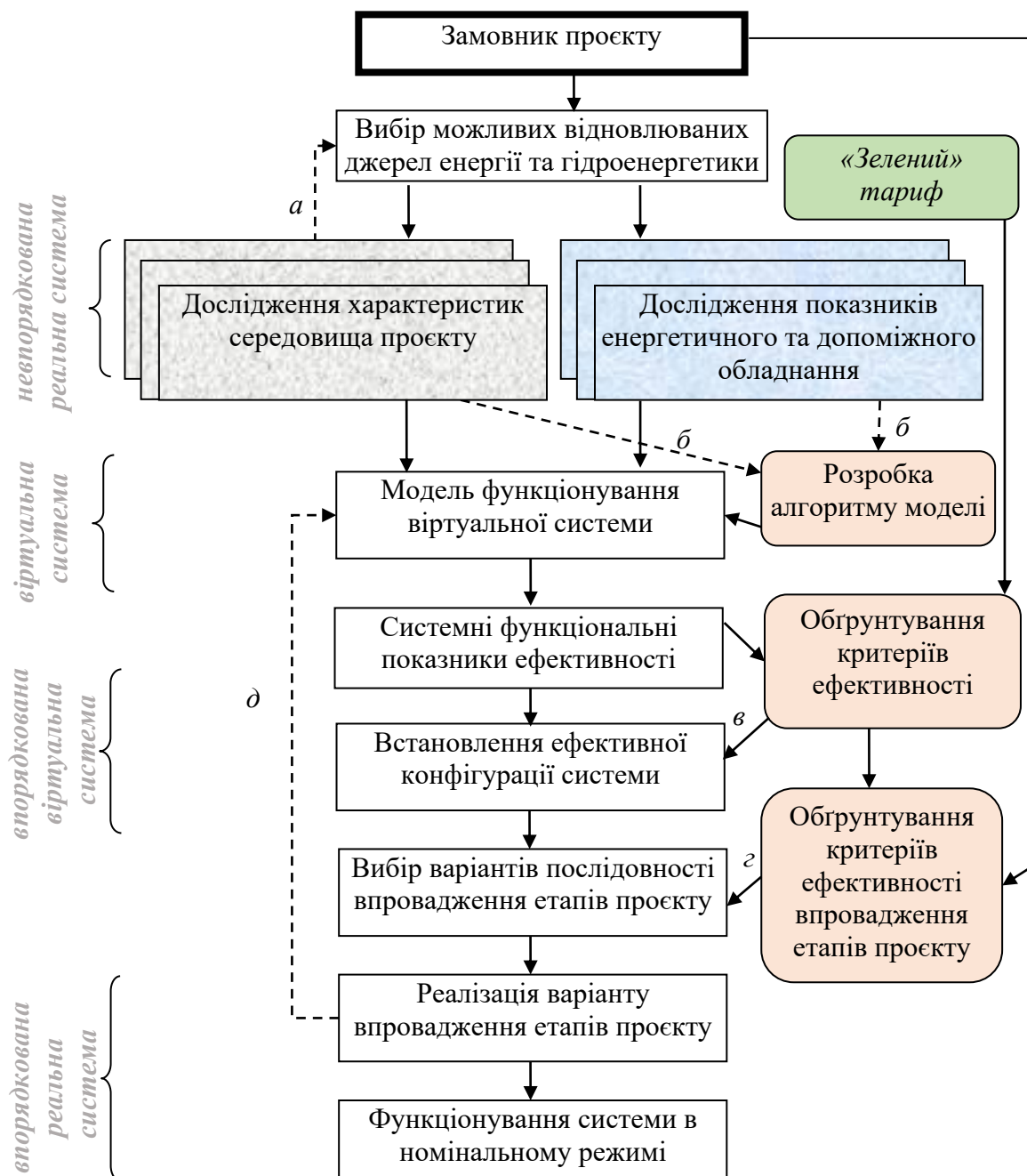


Рис. 1. Алгоритм обґрунтування системи комплексного проєкту з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики



У впровадженні такого проєкту і його ефективності в першу чергу зацікавлений замовник, а це може бути споживач, вітчизняний чи закордонний інвестор, держава тощо. Замовник, ставить певні умови щодо проєкту, що впливає на вибір можливих джерел енергії з врахуванням дослідження характеристик середовища проєкту (зв'язок *a* на рис.1), наприклад дослідження річки, якщо буде використовуватись гідроенергетичне обладнання, або дослідження потенціалу сонячної енергії в місцевості де планується застосовувати сонячні електростанції. Разом з цим здійснюється вибір та обґрунтування використання енергетичного та допоміжного обладнання обраних типів електростанцій з врахуванням умов експлуатації.

Отримані на підставі дослідження відомості про характеристики середовища проєкту та фізичні і функціональні показники енергетичного та допоміжного обладнання є основою для розроблення алгоритму імітаційної моделі функціонування віртуальної комбінованої системи. Дана модель враховує сумісне функціонування різних видів відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики.

Ефективність функціонування моделі з заданими показниками обладнання електростанцій оцінюють за допомогою системних функціональних показників [1]. Використовуючи ці показники ми можемо подивитись на результат роботи того чи іншого обраного обладнання, наприклад гідроелектростанції на заданій річці. У залежності від вимог замовника, заданих умов проєкту, системними показниками можуть бути виробіток енергії, собівартість, прибуток від реалізації енергії, коефіцієнт заміщення тощо.

Наступним кроком є вибір і обґрунтування критерію оптимізації, який залежить від вимог замовника проєкту. Критерії можуть бути різними, але основними з них є: мінімальні питомі капіталовкладення в спорудження електростанцій, мінімальна собівартість виробленої електроенергії, мінімальний термін окупності, максимальний виробіток електроенергії тощо.

Якщо розглядати приватного інвестора як замовника проєкту, то зрозуміло що його в першу чергу цікавить отримання максимально прибутку від реалізованої електроенергії та швидке повернення вкладених коштів. Оскільки до 2030 року діє «зелений» тариф на електроенергію вироблену на об'єктах відновлюваної енергетики, величину цього тарифу необхідно включати у критерії при роботі обґрунтованої комбінованої системи на загальну мережу.

Незалежно від того, яке відновлюване джерело обрано для виробітку енергії, виробіток енергії є функцією від параметрів системи: $w_i = w_i(x_i)$, а ефективність залежить від виробітку: $E_i = E_i(w_i)$.

Тоді цільову функцію оптимізації частки кожного з джерел енергії можемо записати

$$\bar{E}_i \rightarrow \sum_i w_i E(w_i) \rightarrow \max_{\{x_i\}}. \quad (1)$$

Використовуючи критерії ефективності можна здійснити оптимізацію параметрів комбінованої системи для виробництва енергії (оптимізаційний зв'язок *в* на рис. 1), в результаті чого система стає вже впорядкованою.

Завершальним кроком, який впливає на сумарну ефективність проєкту, є порядок впровадження його етапів. Для об'єктивності моделі має бути системна єдність критеріїв на різних етапах життєвого циклу проєкту при розв'язанні різних задач. Крім цього обґрунтування послідовності залежить від умов фінансування проєкту.

Коли остаточна конфігурація комбінованої системи проєкту нам відома, то відома й кількість етапів, а, відповідно, й множина значень параметрів проміжних конфігурацій. У такому випадку здійснюється почерговий перебір їх варіантів. Для визначення середньозваженої ефективності $\bar{E}$ фази впровадження проєкту слід шукати максимум функції (оптимізаційний зв'язок *г*):

$$\bar{E} = \frac{\sum_{r=1}^{R-1} \Delta t_{r+1} \cdot \sum_{i=1}^r \Delta E_i}{\sum_{r=1}^R \Delta t_r} \rightarrow \max. \quad (2)$$

де R – кількість етапів (складових) проєкту;

Δt , ΔE – відповідно тривалість реалізації та приріст ефективності.

Під час реалізації варіанту впровадження етапів проєкту уточнюють результати з моделлю (на схемі зв'язок уточнення *д*).

Висновки. Враховуючи, що розглянута комбінована система відноситься до складних систем, для її дослідження доцільно використовувати метод статистичного імітаційного моделювання. Запропонований алгоритм обґрунтування параметрів системи проєкту, враховує особливості підсистем проєкту та взаємозв'язки між ними, і уможливорює управління проєктом з використанням системного підходу до обґрунтування критеріїв ефективності. Для практичної реалізації розроблених етапів проєкту в рамках предметної галузі необхідні подальші дослідження характеристик середовища та показників енергетичного і допоміжного обладнання оскільки вони будуть унікальними в межах кожного проєкту.

*Список використаних джерел*

1. Бабич М. І. Обґрунтування системних функціональних показників малих дериваційних гідроелектростанцій. *Технологічний аудит і резерви виробництва*. 2015. № 6/1(26). С. 31–36. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.56648>.
2. Бабич М. Обґрунтування стохастичної складової проектного середовища в проектах систем виробництва електроенергії на малих річках. *Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження*. 2015. Вип. 19. С. 7–12.
3. Бабич М. І., Боярчук В. М., Коробка С. В., Михалюк М. А., Баранович С. М., Стукалець І. Г. Визначення витрати води і напору дериваційних гідроелектростанцій для виробництва електроенергії на гірських річках. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 2. 11 с. https://drive.google.com/file/d/1LBvJBYoA_mQZvpWESMiCgEn-sEXKg87N/view (дата звернення 02.09.2024).
4. Вознюк М. А. Регіональна інвестиційна політика енергозбереження: монографія / НАН України, ДУ «Ін-т регіон. дослідж. ім. М. І. Долішнього». Львів: Ін-т регіон. дослідж. ім. М. І. Долішнього, 2015. 413 с.
5. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Баштовий А. І. Аналіз енергетичних стратегій країн ЄС та світу і ролі в них відновлюваних джерел енергії. Ч. 1. *Промислова теплотехніка*. 2016. Т. 38, № 2. С. 56–64.
6. Добрянська Н. А. Лагодієнко В. В., Торішня Л. А. Перспективи використання відновлювальних джерел енергії в Україні. *Український журнал прикладної економіки*. 2020. Т. 5, № 2. С. 206–213. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2020-2-25>.
7. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 № 605-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p#Text> (дата звернення 02.09.2024).
8. Коробка С. В., Стукалець І. Г., Сиротюк С. В., Бабич М. І. Підвищення енергетичної безпеки електрозабезпечення споживачів ліній електропередач 0,38 кВ із застосуванням системи моніторингу віртуально вимірювальних приладів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 1. 17 с. https://drive.google.com/file/d/16K4L3o1vXB0ybzpJ3b5A1-8ORk__rf0g/view (дата звернення 02.09.2024).
9. Накашидзе Л. В., Гільorme Т. В. Оцінка енергетичної безпеки при впровадженні технологій використання енергії відновлювальних джерел. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2015. № 8. С. 54–59.



10. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: оцінка ефективності інвестиційних проєктів : монографія / О. М. Сохацька, О. М. Ляшенко, В. М. Олейко [та ін.] ; за заг. наук. ред. О. М. Сохацької. Тернопіль : ТНЕУ, 2012. 308 с.
11. Самборський В. О. Оцінка енергетичної безпеки підприємства як складова його стратегії енергетичної безпеки. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2014. № 34 (1077). С. 163–168.
12. Свірчевська Ю. А. Сутність енергетичної безпеки країни та чинники, що на неї впливають. *Геополітика и екогеодинаміка регіонів*. 2014. Т. 10, вип. 2. С. 222–228.
13. Сидорчук О., Бабич М., Татомир А. Моделювання віртуальної системи «річка-гідроелектростанція». *Motorization and power industry in agriculture. MOTROL*. 2011. Т. 13D. Р. 244–250.
14. Чумаченко О. Роль відновлюваних джерел енергії у електроенергетичному балансі України. *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2022. № 3(67). С. 39–47. <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2022-67-39-47>.
15. Ang T-Z., Salem M., Kamarol M., Shekhar Das H., Alhuyi Nazari M., Prabakaran N. A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*. 2022. Vol. 43. e100939. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939>.
16. Banos R., Manzano-Agugliaro F., Montoya F.G., Consolacion G., Alcayde A., Gomez J. A., Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15 (4). P. 1753–1766. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.12.008>.
17. Bondarenko S., Verbivska L., Dobrianska N., Iefimova G., Pavlova V., Mamrotska O. Management of Enterprise Innovation Costs to Ensure Economic Security. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2019. Vol. 8 (3). P. 5609–5613.
18. Cherp A., Jewell J. The concept of energy security: Beyond the four As. *Energy Policy*. 2014. № 75. P. 415–421. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.09.0005>.
19. Energy Supply Security and Geopolitics. Final Report. *Clingendael International Energy Programme (CIEP)*. 2004. 279 p.
20. Jewell J. The IEA Model of Short-term Energy Security (MOSES). *Primary Energy Sources and Secondary Fuels*. 2011. 48 p.
21. Jewell J., Cherp A., Riahi K. Energy security under decarbonization scenarios: an assessment framework and evaluation under different technology and policy choices. *Energy Policy*. 2014. № 65. P. 743–760. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.051>.
22. Obukhov S., Ibrahim A., Tolba M. A., El-Rifaie A. Power balance management of an autonomous hybrid energy system based on the



dual-energy storage. *Energies*. 2019. Vol. 12. 4690. <https://doi.org/10.3390/en12244690>.

23. Qazi A., Hussain F., Abd Rahim N., Hardaker G., Alghazzawi D., Shaban K., Haruna K. Towards sustainable energy: a systematic review of renewable energy sources technologies, and public opinions. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 63837–63851. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2906402>.

24. Sovacool B. K., Mukherjee I. Conceptualizing and measuring energy security: a synthesized approach. *Energy*. 2011. № 36 (8). P. 5343–5355. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.043>.

25. Winzer C. Conceptualizing energy security. *Energy Policy*. 2012. № 46. P. 36–48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.067>.

Стаття надійшла до редакції 12.09.2024 р.

M. Babych, V. Boyarchuk, S. Korobka, V. Ptashnyk
Lviv National University Environmental University

INCREASING THE LEVEL OF ENERGY SECURITY FOR THE IMPLEMENTATION OF COMPLEX PROJECTS FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES AND HYDROENERGY

Summary

The article examines the peculiarities of the implementation of complex projects from renewable energy sources and hydropower. The state and prospects of the use of renewable energy sources and hydropower in Ukraine and the world are analyzed. The peculiarities of the use of complex projects of renewable energy for the energy supply of consumers and increasing the level of energy security are considered. Since the combined system is a complex system, it is proposed to use the method of statistical simulation modeling for its study. The information obtained as a result of the research about the characteristics of the project environment and the physical and functional indicators of energy and auxiliary equipment are the basis for developing an algorithm for a simulation model of the functioning of a virtual combined system. This model takes into account the combined functioning of various types of renewable energy sources and hydropower.

An algorithm for justifying the system of a complex project from renewable energy sources and hydropower is proposed, which allows taking into account the systemic interrelationships between the components of the project. Proposed efficiency criteria based on the "green" tariff to optimize system parameters. In the process of justifying the parameters of the system, four main stages of its development are highlighted: a disordered real system; virtual system; ordered virtual system; ordered real system.

Using efficiency criteria, it is possible to optimize the parameters of the combined system for energy production. The method of implementation of the stages of the complex project on renewable energy sources and hydropower according to the maximum of the justified function is proposed.

Key words: project, energy security, hydropower, renewable energy sources, efficiency.



КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-26**УДК [502.3+004.89]**

В. С. Волошин, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-9922-5618

О. Ю. Азархов, д.м.н., доц.

ORCID: 0000-0003-0062-0616

Приазовський державний технічний університет

e-mail: alexazarhov@gmail.com тел.: +380675366051

**ЛЮДИНА ЧИ МАШИНА: ІНТЕЛЕКТ ТА МІЦНІСТЬ,
ПЕРСПЕКТИВИ ТА КОНКУРЕНЦІЯ**

Анотація. У статті представлено в параметричному порівнянні стан і розвиток двох екосистем, одна з яких заснована на вуглецевих формах життя, а друга - на металоїдних і металевих елементах. Розглядається гіпотетичне припущення про можливу конкуренцію між цими системами в межах обраних параметрів. Запропонована параметрична модель, що відображає основні взаємні конкурентні функції умовної «людини» і «машини», дозволила оцінити як їх реальні, так і потенційні можливості і зробити висновки про перспективність цих двох умовних екосистем. Одним з висновків таких досліджень стала нетривіальна теза про можливий проміжний стан функції людини в довгостроковому еволюційному розвитку розуму на планеті, хоча б на підставі того, що він в чомусь починає програвати конкуренцію зі створеними ним специфічними формами неорганічного світу. Показано, що сучасний еволюційний вектор не є його останньою стадією, він спрямований на розвиток конкретних форм неорганічного світу, який у певний час буде здатним до діяльності паралельно з людиною, але не менш ефективній.

Ключові слова: білкові форми мислення, людина, специфічна неорганіка, штучний інтелект, пам'ять, швидкість мислення, еволюція, конкурентоспроможність.

Постановка проблеми. У певний період часу багато вчених, в тому числі такі відомі, як С. Хокінг, Г. Альтшуллер, Дж. Агар, А. Т'юрінг, Р. Пайпс і навіть лауреати Нобелівської премії І. Павлов, Е. Шредінгер, І. Пригожин, постійно стикаються з питаннями життєздатності в земних умовах екосистем з білково-вуглецевою основою. Це практично вся біологічна система у всьому її різноманітті. Такі питання виникають тому, що вже на зараз стає помітним зовсім інший світ, створений розумом і руками людини, як одного з вінців білково-вуглецевої природи, а саме сукупність технічних систем (ТС) різного призначення і типу. Ареал такої умовно названої екосистеми можна позначити як специфічні неорганічні форми на основі металів, кремнію та інших металоїдів. Агрегатна, специфічно організована



неорганічна екосистема вже сьогодні спроможна конкурувати зі своєю білковою «сестрою». Як і все існуюче на планеті, такі екосистеми не можуть не вступати в суперечність і формувати конкурентне середовище для подальшого розвитку. І хто стане переможцем, це вже сьогодні вимагає певних роздумів.

Аналіз останніх досліджень. З біології випливає, що життя належить тільки білковим системам. Погоджуючись з цим, слід зазначити, що життя - це також розум, пам'ять, здатність реалізовувати механізми синергії, результатом якої є все створене людиною [1]. І якщо такими функціями характеризувати інші системи, крім людини, то, слідом за Е. Шредінгером, можна відзначити, що справа буде тільки відносно цього імені - «життя». Сьогодні загальна маса біологічних систем (у перерахунку на вуглець) на планеті досягає $0,6 \cdot 10^{12}$ тонн [2]. Зокрема, загальна маса всіх людей на планеті, за різними даними, склала понад 60 мільйонів тонн (перерахунок у вуглецю) [3]. Для порівняння уявімо, що всі інженерні споруди, в тому числі стаціонарні і пересувні машини, верстати, фабрики, будівлі і споруди, електростанції і мости, які в даний час експлуатуються, досягають ваги більше $1,0 \cdot 10^{12}$ тонн [3, та ін]. А якщо взяти всю загальну масу неорганічного світу, створеного людиною за свою історію, то вона досягає $1,5 \cdot 10^{12}$ тонн. За непідтвердженими даними, загальний оборот металу в світі може досягати понад 8 мільярдів тонн заліза, алюмінію, міді та інших металів. Світовий ринок металоїдів, таких як кремній і германій що у переробленому вигляді використовуються не тільки в комп'ютерних або напівпровідникових технологіях, досягає \$18 млрд [5]. Поточна кількість чипів в діапазоні 50-80 мільярдів одиниць, за оцінками експертів Intel, досягне 1 трильйона одиниць до 2030 року.

Яскравими прикладами тут є численні мегапроекти, що реалізуються, наприклад, на території Китаю. Гідроелектростанція «Три ущелини» – це 112 млрд кВт · ч високоякісної електроенергії, але вона також містить понад 700 млн тонн бетону, 48 млн тонн металу та 25,5 ТБайт оперативної інформації. Це також 200 квадратних кілометрів деформованої гідравліки навколишньої екосистеми: там, де були болота, стало сухо, і навпаки. Тисячметрові білдинги Манілі, Шанхаю, Гуанчжоу, Сінгапуру - це не тільки шедеври архітектури, а й концентратори потужних атмосферних електростатичних полів, які в нормальному стані рівномірно розподілені в навколишній атмосфері, але тепер надають опосередкований, але незворотний вплив на клітинну структуру всього живого в цих будівлях. Також вони сприяють концентрації величезної кількості шкідливих і небезпечних бактерій з навколишнього поляризованого повітря. Шедевр інженерного мислення – проект перекидання води з південних річок на



посушливу північ Китаю трьома каналами загальною протяжністю трохи менше 4000 км, це не просто вкладений туди мільярд тонн залізобетону і величезна кількість інженерного обладнання, що піднімає 15 мільярдів тонн цієї води (третина всього проекту) на 3-5 км через гори, а й відмова від природного стоку, спосіб деформації структури води, що подається, те що робить її біологічно неефективною для споживання живими білковими клітинами та вуглецевою органікою [6]. А проекти будівель-міст у Ченду, Чжухаї, Нью-Йорку, Рафалі-Сіті площею до 2 млн квадратних метрів кожний, де людина, не виходячи, може спати, працювати, відпочивати, займатися спортом, відвідувати видовища, робити покупки, не виходячи з дому – адже це проект, передбачений ще у ХХ столітті Г. С. Альтшуллером про технізований або неприродний світ, який вже реалізовано. Все це є свідомим відходом людини від природи, від білково-вуглецевого світу в світ специфічної неорганіки, в світ *ТС*, які все більше порівнюються за функціями з біологічним світом.

Сучасні теорії еволюції знаходяться в стані цілого спектру гіпотез, починаючи з того факту, що Всесвіт виглядає як єдиний великий квантовий комп'ютер, який виробляє все, що ми бачимо навколо нас, включаючи нас самих, і працює як величезна космічна програма [7], до теорій біоцентризму [8], які мають на меті довести гіпотезу про те, що Всесвіт не створював інтелект та інші біосистеми, а навпаки – Розум створив Всесвіт. І життя не є результатом випадкових процесів, а Природа та історія Всесвіту не зводяться до безладної гри фізичних та інших законів. Гіпотетично.

Перспективи розвитку конкретних форм кремній-металевого «життя», принаймні сьогодні, повністю залежать від людини. Він може продовжувати створювати нові *ТС* (до чого його незмінно підштовхують постійно зростаючі вимоги до комфорту для життя, а також наука, яка не потерпає зупинок). Але він може й зупинити їх створення, чим поставить крапку в суперечках про переваги узагальнених «машин» перед людиною. Але це в кінцевому варіанті означає «шлях до печери», з чим згодні далеко не всі. Комп'ютер сьогодні здатний перевершити людину в вирішенні чітко формалізованих завдань з жорстким набором правил і цілей, але поки що програє там, де потрібна ініціатива і створення нетривіальних способів вирішення проблеми. Але попереду розвиток штучного інтелекту. Тому немає причин сперечатися про те, чи будуть удосконалюватися сучасні *ТС* і чи не настане в якийсь момент часу фактор самовідтворення, коли «машина», розвиваючись, стане здатною створити собі подібних.

Формулювання мети статті. На основі опосередкованого параметричного порівняння двох складових ергатичної системи



з'ясувати можливості людини в конкуренції зі специфічними формами неорганічного світу, що оточує його.

Основна частина. Систематизуємо відомі дані щодо порівняння «людини» і *ТС* за умовними порівнянними параметрами (табл. 1). За енергетичними та інтелектуальними показниками світ існуючих *ТС* вже зараз має деякі, а часом і дуже значні, переваги перед «людиною». Переваги, які з часом будуть тільки збільшуватися. Але поки що людина не залежить від процесів відтворення як собі подібних, так і будь-якого з існуючих *ТС*. Її безпека на сьогодні гарантується соціумом, якого поки немає у відомому світі *ТС*, де мотивація існування ще не визначена, тоді як у людини вона давно сформувалася як даність [10]. Та й цінність відомої інформації в людському суспільстві є більш актуальною, оскільки вона є основою для подальшого розвитку як науки, так і суспільства. Цінність інформації в світі *ТС* як і раніше утилітарна, підпорядкована людині і не залежить від потреб цієї системи.

Виграш для людини ще зберігається і в здатності до вибіркової логіки. Це вміння відразу знаходити «оптимальне рішення» без ретельного перебору варіантів. Але «машина», взявши за основу методику механічного перебору варіантів та за рахунок надвеликих швидкостей переробки інформації, знаходить оптимальне рішення вже швидше, ніж людина – це підтверджують шахи, гра в Го та ін. Та й те, що без сучасних комп'ютерних технологій комунікативні навички сучасної людини різко впадуть, говорить саме за себе.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика для сучасних вуглецевих та неуглецевих екосистем (затінені клітинки вказують на переваги певної екосистеми)

Параметр	Вуглецевмісні форми життя		Метало-металоїдні форми	
	Факт	Екстраполяція	Факт	Екстраполяція
Загальна маса*	$0,6 \cdot 10^{12}$ тонн	$(0,7-0,8) \cdot 10^{12}$ тонн	$1,0 \cdot 10^{12}$ тонн**	$1,5 \cdot 10^{12}$ тонн
Енергетична потужність	мозоку-30 Вт людини-160Вт	-	машин 1900 лс.; ГЕС-22,5 КВт; ядерний реактор-1,5 ГВт.	100 ГВт
Розвиток сили	м'язи людини 5-10 кг/см ²	-	вимірюється тонами $n \cdot 10^3$ кг	-
Обсяг інформації, що зберігається***	мозок-3Тбайта; все людство-24 · 10 ²¹ Тбайт	-	інтернет 90 · 10 ²¹ Тбайт	інтернет к 2030 року - 1 · 10 ²⁴ Тбайт



Продовження таблиці 1				
Швидкість обробки інформації**	підсвідомість 4- 10^9 біт/сек, свідомість – $2 \cdot 10^3$ біт/сек. В середнь-ому $11 \cdot 10^6$ біт/сек	$1 \cdot 10^{16}$ флорс/сек	комп'ютер $1 \cdot 10^{18}$ операцій/с. швидкість передачі даних $1 \cdot 10^8$ біт/с.	комп'ютер MDGrap (Японія) – $2 \cdot 10^{15}$ флорс/с.
Пропускна спроможність інтерфейсу	10 Мбіт/с**** усвідомлений потік інформації <16 біт/с	-	50 Гбайт/с	-
Спосіб обробки інформації	послідовний та масивно- паралельний	-	послідовний 4- ядерний паралельний	багатоядерний пара-мельни; штучний інтелект
Спосіб поведінки	адаптивний	адаптивний	Такий що програмується	Адаптивний
Область переваг	інтуїтивно зрозумілі рішення,	інтуїтивно зрозумілі рішення,	формалізовані завдання с жорсткими правилами	системний перебір варіантів, можливості III
Накопичення знань	послідовно, у міру їх появи	послідовне генерування знань у міру їх накопичення	знання завантажують ся за короткий час	генерування нових знань, системи штучного інтелекту в міру їх появи.
Спосіб аналізу	вибіркова логіка		механічне перерахування варіантів	необмежене збільшення швидкості перебору
Цінність нової інформації	зростає з часом		падає з часом,	збільшується з часом
Причини появи та розвитку	природний добір,	доцільність,	потреба людини в комфорті (енергія) та інформації (машини)	конкуренція з вуглецевими формами та навколишнім середовищем
Основа життя	органічна, вуглець	вуглецево- металоїдні форми	неорганічна – метало- металоїди	змішана – металоїдно- вуглецеві форми
Відтворення	парне розмноженн я; розмноженн я поділом клітин	штучне і внутрішньоклітин не запліднення	відтворення за рахунок будівництва нових машин і в залежності від потреб людини	відтворення собі подібних шляхом будівництва незалежно від людини



			Продовження	таблиці 1
Джерело енергії	білкова їжа, вуглець, кисень, вода	біологічно збалансована їжа	електрика, залежність від людини і його джерел енергії	живлення від поновлюваних джерел, Сонце
Безпека	самозахист, житло, протекція соціуму	очікування протекції від ТС мілітарного рівня	захист від поломов, надійність ТС, залежність від людини	відсутність залежності від людини
Мотивація до існування	розмноження, продовження роду		потреба залежить від людини	потреба, що не залежить від людини
Термін активного життя	збільшується від 80 до 90 років за рахунок підвищення її якості	збільшується від 90 до 120 років за рахунок підвищення її якості	залежить від потреб людини та від розвитку нових ТС	залежить від розвитку більш сучасних ТС

* - на суші, у перерахунку на вуглець;

** - штучно створені людиною специфічні неорганічні форми (міста, дороги, супутники, електростанції тощо);

*** - в літературі можна зустріти й інші форми цих даних;

****-опосередковані данні.

Для того щоб зробити такі висновки, спробуємо звернутися до відомих ергатичних систем типу «людина-машина» або «*ch-M*» [11] і оцінити кожен її складову в умовно порівнянних параметрах, включаючи динаміку розвитку. Одна з складових такої системи (*ch*) має білково-вуглецеву основу, а друга (*M*) в тому складі, в якому її створила людина – метало-металоїдну основу. В якості параметрів системи оберемо час існування *T* системи, енергетичну потужність ΔP системи та її частин, а також її умовну інтелектуальну складову у вигляді векторного симплексу $\Delta I = i \times v$, де *i* – обсяг можливої інформації що зберігається; *v* – вектор швидкості обробки цієї інформації. Показники ΔP та ΔI будуть оцінюватися за логарифмічною шкалою. Це якраз ті умовні параметри, від яких в історичному плані залежало виживання, а пізніше і комфорт, як мотивація для життя людини.

Відомо, що людина періоду збирання плодів та коренів була сильнішою за сучасну. Важко надати кількісну характеристику їх потужності, але якщо врахувати, що сучасна людиноподібна горила (сімейство *hominidae*, до якого відноситься і людина) приблизно в 6-8 разів могутніше людини, то можна сказати, що з урахуванням зміненого способу життя силові характеристики середньостатистичної сучасної людини знизилися приблизно в 3-4 рази (рис. 1, а), що дуже суттєво. Принаймні, фізична сила людини в порівнянні з сучасними

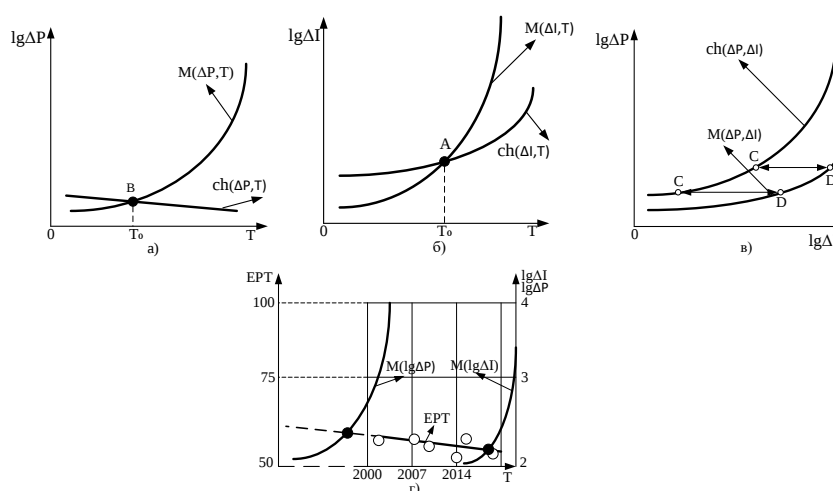


Рис. 1. Емпіричні залежності для оцінки порівняльних можливостей елементів системи « ch - M » за такими параметрами: P – енергетичними; I – умовно-інтелектуальними; T – часовими; а) – щодо наведеної потужності; б) – відповідно до наведеного інтелекту; в) – щодо ролі умовного інтелекту в енергоефективності елемента системи; г) - за індексом екологічної ефективності (EPI).

приматами знизилася в 2-2,5 рази, витривалість знизилася в 4-5 разів [9]. За цей же час потужність «машин», які були створені людиною, зростала в геометричній прогресії, від примітивних важелів, млинів і відкритого полум'я до сучасних мегаватних лайнерів і гігаватних електростанцій, тобто на порядки (див. рис. 1, а).

Так само це стосується і порівняльного інтелектуального рівня людини і машини. Якщо вимірювати інтелект людини емпірично примітивним числом байт його пам'яті, яку здатний зберігати мозок, то це значення близько 3 терабайт інформації. Для всіх 8 мільярдів людей Землі така колективна «пам'ять» може становити близько $i = 2 \cdot 10^{22}$ байта інформації.

У сучасних інтернет-мережах вже зберігаються як мінімум $9 \cdot 10^{22}$ байтів найрізноманітнішої інформації і її обсяг постійно зростає (висновок із закону Мура). Прогнози до 2030 року дають нам цифру $1 \cdot 10^{27}$, тобто на порядки більше інформації в інтернеті, ніж зберігається сьогодні в загальному людському мозку. Якщо говорити про порівняння сучасних комп'ютерів і людського мозку за швидкістю (див. табл. 1), то перший вже має багаторазову перевагу перед людиною, а векторний симплекс ΔI (рис. 1, б) у співвідношенні людини та комп'ютера тепер явно на користь останнього на кілька порядків.

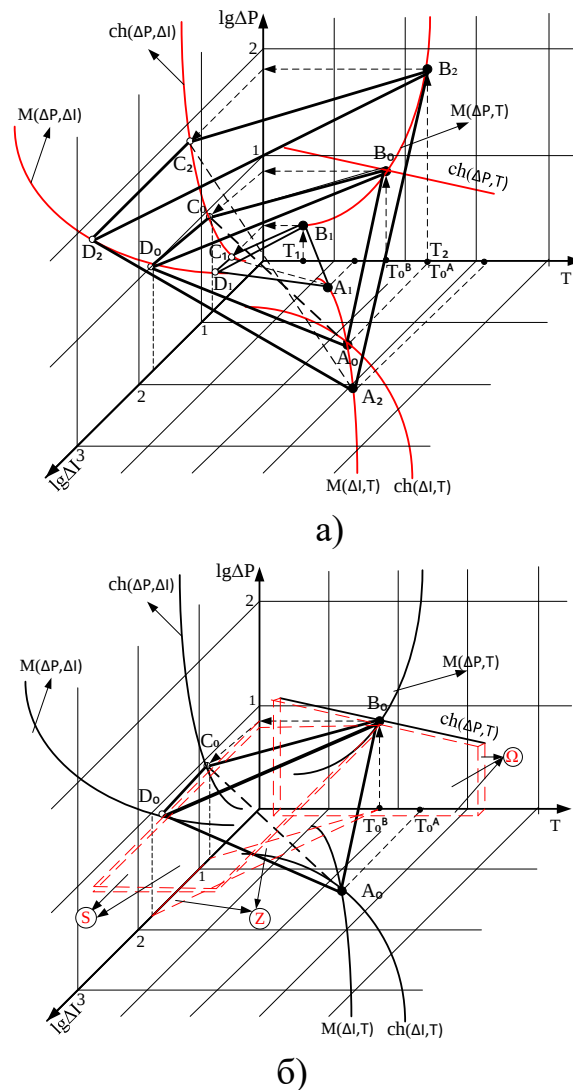


Рис. 2. Масштабовані співвідношення порівнянних параметрів елементів екосистеми « ch - M »: а) – зони комфортного стану людини ($A_0B_0C_0D_0$); б) – вибіркові області переваг специфічних неорганічних екосистем над білковими (позначення в тексті).

Справлятися з існуючими енергетичними можливостями і пристроями, що знаходяться під управлінням людини, вже неможливо без суворих технічних засобів контролю, в тому числі комп'ютерного програмного забезпечення, без штучного інтелекту. В такій же мірі, як і людина, будь-яка «машина» втрачає здатність розвивати власний функціональний потенціал без її інформаційної підтримки, причому ця залежність більш важлива для людини, ніж для створюваних ним машин (рис. 1, в). Таким чином, середньостатистична людина або починає, або давно і значно програє машинам і в питомій силі, і в питомій потужності, і в специфічній пам'яті, і в швидкості.

Слід бути впевненими, що на наших очах формується конкурентне середовище між двома системами, що досліджуються,



кожна з яких має свої переваги та недоліки (див. табл. 1), які дозволяють судити про те, що така конкуренція буде не простою для людини.

Ми можемо уявити собі певну сукупну поверхню управління сучасними системами «*ch-M*» у координатах $(lg\Delta P, lg\Delta I, T)$ (рис. 2, а). Тут T – час виміру; ΔP – питома міцність, приведена до одиниці ваги кожного елементу системи; ΔI – інтелектуальний рівень, умовно приймемо залежним від об'єма пам'яті L , швидкості її обробки ω_L , способу вибору рішення S : $\Delta I = f(L, \omega_L, S)$. Для людини в масштабі задіяної пам'яті, додатковий умовний параметр S – це вибіркова логіка в необхідному обсязі пам'яті, для машини – це підбір усіх варіантів, також в необхідному обсязі пам'яті. Ентропія другого вище, ніж першого, а значить, «машині» потрібно більше енергії для досягнення того ж інтелектуального результату, ніж людині. З іншого боку можливості людського мозку в використанні енергії обмежені (не більш 20% всієї енергії що виробляється організмом).

Представляють інтерес поверхні управління в цих координатах для кожного з елементів системи: для *ch* і для *M*.

На графіках (див. рис. 1) відмічені дві точки «*B*» і «*A*», які за часовою шкалою можна датувати приблизно 700-800 роками до РХ і кінцем ХХ століття від РХ відповідно. Це точки, розташовані на перетині кривих двох залежностей, що відображають розвиток людини і «машини» в часі по його енергетиці «*B*» і умовному інтелекту «*A*», відповідно. Візьмемо ці дві точки за основу для нашого аналізу.

Знайдемо ще дві точки «*C*» і «*D*» в тривимірному просторі на площині $(lg\Delta P, lg\Delta I)$ в координатній сітці $(lg\Delta P, lg\Delta I, T)$ і об'єднаємо ці чотири точки (див. рис. 2). Отримана фігура являє собою перевернуту трикутну піраміду (фігура $A_0B_0C_0D_0$), основа якої розташована паралельно горизонтальній площині в системі координат, а її вершина лежить у цій же площині. Можливо, при певних вихідних параметрах така піраміда може стати тетраедром, але це не актуальний варіант. Актуальніше те, що така піраміда розподіляє координатний простір управління на дві нерівні частини – внутрішню та поза цією фігурою.

Якщо уважно придивитися до функціонального наповнення цих просторів, то можна побачити, що внутрішній простір такої піраміди відноситься до параметрів, відповідним процесам розвитку людини. А саме точка "*B*₀" відповідає певному часовому етапу T_0^B , коли з'явилися перші "машини" більшої потужності, ніж сама людина (важіль, млини, вогонь у вогнищі тощо). А точка "*A*₀" і відповідний їй час T_0^A – це час створення пристроїв пам'яті з ємністю, близькою до пам'яті людського мозку і навіть такого, що перевищує її, це час появи першого штучного інтелекту. Тобто це прогрес в тому сенсі, в якому ми звикли



про нього говорити. Але простір за межами перевернутої піраміди - це невідомий стан не тільки для людини, але і для біологічних систем в цілому: тут сумарна маса, потужність і інтелект конкретних неорганічних систем в межах обраних координат зможуть почати поступово витіснити білкові системи (табл. 1). Очевидна обмеженість координатного простору, де людина є лідером в системі «*ch-M*», і необмеженість простору, де людина може або повинна поступитися своїми лідерськими правами не тільки в управлінні енергетичними можливостями неорганічного світу, але і його інтелектом. Перевернута піраміда (див. рис. 2, а) могла існувати в минулому (фігура $A_1B_1C_1D_1$), може мати місце в майбутньому (фігура $A_2B_2C_2D_2$), і кожне своє призначення уявляється в параметричному поділі переваг людини і переваг «машини» відповідно.

Для нас цікавим є стан такої системи в заданих параметрах, за межами об'єму перевернутої піраміди. Він може пояснити, як і чому певний спеціалізований неорганічний «світ» вже зараз здатний перехопити у людини ініціативу в розвитку розуму, зробити процеси пізнання і розвитку більш динамічними і ефективними. Результатом таких досліджень є кілька гіпотетичних тез.

1. *Запрограмований відхід людини з природного білково-вуглецевого середовища існування в неприродний спеціалізований неорганічний світ або здається еволюційно помилковим, або пов'язаний з іншими, ще не сформованими, формами еволюції розуму.*

Людина, що має притаманну їй вуглецеву основу, на протязі більшої частини свого існування (сотні тисяч років) була оточена білково-вуглецевими формами – фауна, флора, все, що давало йому доступ до природного продовження роду, їжі, енергії і т. д. Поступово, щоб задовольнити максимально зростаючі потреби в комфорті і енергії, людина стала оточувати себе специфічними формами неорганічних речовин, металів і металоїдів (область зовні $A_0B_0C_0D_0$, див. рис. 2 б), тобто тим, що спочатку не було їй властиво. Специфічні форми неорганіки вже стали конкурентною альтернативою не тільки енергетичній, а й інтелектуальній міцності людини. Прогрес у цій гонці очевидний, і він за специфічними формами неорганічної матерії. Поки, правда, під керівництвом людини, представника білкового життя. Але, схоже, в довгостроковому вимірі це теж тимчасово, адже вектор цього прогресу спрямований в бік тієї ж самої неорганіки.

2. *Залишається емпіричним фактом те, що еволюційний розвиток розуму на нашій планеті може продовжуватися в бік спеціалізованих форм неорганічної матерії, і людина може бути лише проміжною ланкою в цьому процесі.*

Свою роль зіграла здатність людини змінювати зовнішній вигляд планети за вузький проміжок часу (0,02% від загального часу



існування планети), забезпечивши умови, коли організована ним загальна метало-металоїдна маса стала перевищувати загальну білково-вуглецеву масу. Неорганічні форми, в перспективі, готові виконувати ті ж функції, що і людина: створювати і забезпечувати механізми зниження ентропії на планеті [6] (область S на рис. 2), забезпечити існування штучного розуму, розвивати інтелект, причому не еволюційним шляхом, а більш прискореними способами, які тільки з'являються, використовувати для свого розвитку необмежені джерела енергії, недоступні чисто білковій матерії.

3. Біологічне життя в її різноманітті було потрібне Природі як передумова для її більш надійних форм – кремнію, водню або інших, але за посередництва людини.

На думку Е. Шредінгера, життя - це самовідтворювана система, що здатна до розвитку за рахунок підвищення адаптованості до самовідтворення. Наприклад, біологічний розвиток шляхом парного розмноження вимагає від пари тільки наявних фізичних зусиль, порівнянних з можливостями людини, і знання рефлексорних основ фізіології (область Ω на рис. 2). Ця область торкається перевернутої піраміди тільки в точці «В» і більше ніде. Природою не закладені для біологічних істот радикальні та альтернативні способи продовження життя, наприклад, гіпотетичне безсмертя, але без розмноження, або величезна тривалість життя зі здатністю виробляти потомство тільки перед власним знищенням? Неорганічний світ без парного розмноження, з величезним періодом існування в даному випадку, є більш переважною формою, якщо він випадає з-під впливу людини.

3. Зміна мотивації самого життя людини: від парадигми фізичного виживання до парадигми інтелектуального комфорту, сприяє фізичній зміні людського організму - ослабленню кісткового скелета, зміні видів навантаження на м'язи, зменшенню м'язової маси і зниженню витривалості. Так, тривалість активного фізичного життя людини змінюється в бік збільшення: 80 років; 100 років; 120 років... Але в цьому випадку вона виходить за межі комфортної піраміди і стає більш залежною від метало-металоїдних форм (область Z на рис. 2).

4. Логіка підказує, що, можливо, людина не є самим ідеальним еволюційним творінням в природі, адже вже стає ясно, що крім вуглецю, але з його допомогою, можливі і інші форми інтелекту і свідомості навіть на самій Землі.

Поступова втрата людиною лідерства в порівнянні з «машинами» може змінити його статус провідного суб'єкта еволюції, на статус проміжної еволюційної ланки в межах нашої цілком звичайної планети, що належить до не найяскравішої Сонячної системи, розташованої на «околиці» далеко не найбільшій з відомих галактик.



5. Для людини в його життєвому часовому проміжку неможливо спостерігати динаміку, рухи, наприклад, кремнієвих мас в природі. І в цьому вона теж програє неорганічному світу. Існує закономірність, згідно з якою органічні і неорганічні форми життя істотно відрізняються в хронометрії існування. У природі відомі тимчасові послідовності, наприклад, фотони світла рухаються за безкінечні частки секунди, звукова хвиля - за секунди, життєвий цикл рослин, в основному, становить місяці або роки, а механічні рухи і життєвий цикл людини (а значить, і вуглецю, як елемента людського організму) вимірюються годинами, днями, місяцями, десятиліттями. Зміни стану і розташування кремнію у вигляді земних порід вимірюються століттями і тисячоліттями, завдяки діям таких сил, як вода, тектоніка, вулканічна активність, рух небесних тіл і т. д.

6. До переваг специфічних форм неорганічного світу, як альтернативи людському розуму, нас підштовхує і екологія, стан якої на планеті залежить від розвитку спеціалізованих неорганічних систем, створених людиною, і має системні погіршення. Саме метало-металоїдні системи, що культивуються людиною в енергетиці, на транспорті, в промисловості, побуті, призводять до системного погіршення такого показника, як *індекс екологічної ефективності (EPI)*, який визначається в усьому світі 19 значущими показниками впливу на людину як біологічну систему [12]. Можливості порівняння цього легітимізованого показника в динаміці, з одного боку, і динаміки розвитку метало-металоїдних форм через показники $M(\Delta P)M(\Delta I)$ (див. рис. 1, г) з іншого, досить красномовні на користь специфічних форм неорганічного світу, які майже не залежать від таких техногенних показників.

І ще одна теза поза моделі. Найцінніше в людині – це її розум. Найслабша його ланка – короткий період життєвого циклу і здатність до самоусунення. Специфічні форми неорганічного світу вже недалеко від володіння першим і захищені від другого. І це найголовніше в конкуренції між цими двома екосистемами. Нам буде складно погодитися з гіпотезою про те, що білкове життя і найяскравіший її представник - людина, наділена унікальним інтелектом і феноменальною пристосованістю до природи, в перспективі може залишитися лише проміжною, хоча, мабуть, послідовно обов'язковою, ланкою в еволюції розуму, і не тільки на Землі.

Висновки. В досяжний проміжок часу «людина» починає програвати конкуренцію з «машинами» як по потужності, так і по інтелекту. За великим рахунком, важелів впливу на ситуацію у нього залишилося небагато: у людини ще є ініціатива створювати формати енергетичної та комп'ютерної генерації, а також право створювати або не створювати в майбутньому сильні і розумні машини, або знаходити



інші шляхи еволюції. І вектор цієї еволюції, обачений як не останній її етап, все більш стає спрямованим на розвиток специфічних форм неорганічного «світу», який вже здатний до діяльності паралельно з людиною, та не менш ефективний. Звичайно, це не означає знищення людства або інші види антагонізму. Це може означати лише перевагу однієї форми сили та розуму над іншою, при їх співіснуванні.

Список використаних джерел

1. Schrödinger E. Mind and Matter. Cambridge: University Press, 1958. 58 p.
2. Bar-On Y. M., Phillips R., Ron Milo R. The biomass distribution on Earth. Proceedings of the National Academy of Sciences. URL: <https://naked-science.ru/article/sci/uchenye-pereschitali-massu-biosfery> (lfnf pdthytyyz 01.09.2024).
3. Elhacham E., Ben-Uri L., Grozovski J., Bar-On Y.M., Milo R. Global human-made mass exceeds all living biomass. *Nature*. 2020. Vol. 588. P. 442–444.
4. Юсупова О. О. Еволюція поглядів на глобальну екологічну проблему в контексті діяльності римського клубу. *Наука й економіка*. 2013. URL: irbis-nbuv.gov.ua (дата звернення 31.08.2024).
5. Смил В. Создание современного мира: материалы и дематериализация. *John Wiley & Sons*. 2013.
6. Волошин В. С., Азархов О. Ю. Про роль людини в енергетичному обміні Сонце-Земля. *Техническая поддержка инновационных технологий в агропромышленном комплексе: материалы IV Междунар. науч.-практ. конференции*. Мелітополь, 2022. С. 22-24.
7. Lloyd S. Programming the Universe: A Quantum Computer Scientist Takes On the Cosmos. Knopf, 2006. 240 p.
8. Ланца Р., Берман Р. Биоцентризм. Как жизнь создает Вселенную. URL: http://loveread.ec/read_book.php?id=72986&p=3 (дата звернення 31.08.2024).
9. Соха Ю. І. Системний підхід і проблеми моделювання природно техногенної безпеки. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2012. № 727. С. 440–448
10. Agar J. The Government Machine: A Revolutionary History of the Computer. 2003. 564 p.
11. Мхитарян Н. М. Эргономические аспекты сложных систем / Н. М. Мхитарян [и др.]. Київ: Наукова думка, 2004. 600 с.
12. Expanding the Measure of Wealth: Indicators of Environmentally Sustainable Development. *Environmentally sustainable Development Studies and Monographs. Series №. 17*. The World Bank: Washington, DC. 2017.



Стаття надійшла до редакції 11.09.2024 р.

V. Voloshyn, A. Azarkhov
Priazovsky State Technical University

MAN OR MACHINE: INTELLIGENCE AND POWER, PERSPECTIVES AND COMPETITION

Summary

The article presents in a parametric comparison the state and development of two ecosystems, one of which is based on carbonaceous life forms, and the second - on metalloid and metallic elements available on the planet and at the disposal of man. It is possible to come to a hypothetical assumption about possible competition between these systems within the selected parameters. Well-known studies unbiasedly confirm the possibilities for such competition. Our research is based on the ergatic «human-machine» system as one that contains two main elements of the ecosystems under study. The proposed parametric model, reflecting the main mutual competitive functions of man and «machine» - reduced power, conditional indicators of intelligence in the chronological aspect, made it possible to assess both their real and potential capabilities and draw conclusions about the prospects of these two conditional ecosystems. One of the conclusions of such studies was a non-trivial thesis about the possible intermediate state of man in the long-term evolutionary development of the mind on the planet. and that he is beginning to lose competition with the specific forms of the inorganic world he has created. The arguments are comparative data: life expectancy, the ability to irrational self-elimination, methods of reproduction, the ability to develop the mind and memory, the causes of environmental degradation and its impact on humans, changes in the motivation of human life, the programmed rejection of the natural protein-carbon environment in favor of an unnatural specialized inorganic world. Logic dictates that perhaps man is not the most ideal evolutionary creation in nature, because it is already becoming clear that in addition to carbon, but with the help of man, other forms of intelligence and consciousness are possible even on Earth itself. It is shown that specific forms of inorganic matter, with a vector of development towards artificial intelligence, are protected from the main disadvantage of humans – a short life cycle and the ability to self-destruct. The modern evolutionary vector is not its last stage, it is aimed at the development of specific forms of the inorganic world, which at a certain time will be capable of activity in parallel with man, but no less effective.

Key words: protein forms of thinking, specific inorganic, artificial intelligence, memory, speed of thinking, evolution, competitiveness.

НАУКОВИЙ ВІСНИК
Таврійського державного агротехнологічного університету

Наукове фахове видання

Випуск 14, том 1

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. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.