



2022

НАУКОВІ ПРАЦІ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 28 № 1

*Журнал
«Наукові праці Національного університету харчових технологій»
видається з 1938 року*

КИЇВ ✧ НУХТ ✧ 2022

Articles with the results of fundamental theoretical developments and applied research in the field of technical and economic sciences are published in this journal. The scripts of articles are reviewed beforehand by leading specialists of corresponding branch.

The journal was designed for professors, tutors, scientists, post-graduates, students of higher education establishments and executives of the food industry.

Journal “Scientific Works of National University of Food Technologies” is included into the list of professional editions of Ukraine of technical (specialties — 121, 126, 133, 141, 144, 151, 162, 181) and economic sciences (specialties — 051, 073, 075), category “B” (Decree of MES of Ukraine # 975 from July 11, 2019), where the results of dissertations for scientific degrees of PhD and candidate of science can be published.

The Journal “Scientific Works of National University of Food Technologies” is indexed by the following scientometric databases:

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

The Journal is recommended for publication of research results by the Ministry of Science and Higher Education of Poland.

Editorial office address:

National University of
Food Technologies
Volodymyrska str., 68,
building B, room 412
01601 Kyiv, Ukraine

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Minutes of meeting # 8 from 24th of February, 2022

© NUFT, 2022

У журналі публікуються статті за результатами фундаментальних теоретичних розробок і прикладних досліджень у галузі технічних та економічних наук. Рукописи статей попередньо рецензуються провідними спеціалістами відповідної галузі.

Для викладачів, наукових працівників, аспірантів, докторантів і студентів вищих навчальних закладів, керівників підприємств харчової промисловості.

Журнал «Наукові праці Національного університету харчових технологій» включено в перелік наукових фахових видань України з технічних (спеціальності — 121, 126, 133, 141, 144, 151, 162, 181) та економічних наук (спеціальності — 051, 073, 075), категорія «Б» (Наказ МОН України № 975 від 11.07.2019), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

Журнал «Наукові праці Національного університету харчових технологій» індексується такими наукометричними базами:

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

Журнал рекомендовано Міністерством науки і вищої освіти Польщі для публікації результатів наукових досліджень.

Адреса редакції:

Національний університет
харчових технологій
вул. Володимирська, 68,
корпус Б, к. 412,
м. Київ, 01601

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій.
Протокол № 8 від 24 лютого 2022 року

© НУХТ, 2022

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор

Editor-in-Chief

Олександр Шевченко

Oleksandr Shevchenko

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Відповідальний секретар

Accountable secretary

Анастасія Шевченко

Anastasiia Shevchenko

канд. техн. наук, доц., Україна

Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Члени редакційної колегії:

Агота Гедре Райшене

Agota Giedre Raisiene

д-р екон. наук, Литва

Ph. D. Hab., Lithuanian Institute of Agrarian Economics, Lithuania

Атанаска Тенєва

Atanaska Teneva

д-р екон. наук, доц., Болгарія

Ph. D. Hab., As. Prof., University of Food Technologies, Bulgaria

Анатолій Зайнчковський

Anatoliy Zainchkovskiy

д-р екон. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Анатолій Ладанюк

Anatoliy Ladanyuk

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Андрій Маринін

Andrii Marynin

канд. техн. наук, ст. наук. сп., Україна

Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Браян Мак Кенна

Brian McKenna

д-р техн. наук, проф., Ірландія

Ph. D. Hab., Prof., University College Dublin, Ireland

Валерій Мирончук

Valerii Myronchuk

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Василь Кишенько

Vasyl Kyshenko

канд. техн. наук, проф., Україна

Ph. D., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Василь Пасічний

Vasyl Pasichnyi

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

В'ячеслав Івашук

Vyacheslav Ivaschuk

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Віктор Стабніков

Viktor Stabnikov

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Володимир Зав'ялов

Volodymyr Zavialov

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Галина Колісник

Halyna Kolisnyk

д-р екон. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., Uzhhorod National University, Ukraine

Галина Поліщук Halyna Polishchuk	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Герхард Шльонінг Gerhard Schleining	д-р техн. наук, Австрія Ph. D. Hab., Prof., University of Natural Resources, Austria
Дайва Лескаускайте Daiva Leskauskaite	д-р техн. наук, проф., Литва Ph. D. Hab., Prof., Kaunas University of Technology, Lithuania
Ірина Штулер Iryna Shtuler	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National academy of management
Кристина Сильва Cristina L. M. Silva	д-р техн. наук, проф., Португалія Ph. D. Hab., Prof., University de Catolica, Portuguesa
Лада Шірінян Lada Shirinyan	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Лариса Арсеньєва Larisa Arsenyeva	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Наталія Луцька Nataliia Lutska	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Бутнік-Сіверський Oleksandr Butnik-Siverskyi	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Гавва Oleksandr Gavva	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Кургаєв Oleksandr Kurgaev	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олена Дерев'янка Olena Derevianko	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олена Стабнікова Olena Stabnikova	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Паола Піттія Paola Pittia	д-р техн. наук, проф., Італія Ph. D. Hab., Prof., University of Teramo, Italy
Володимир Ковбаса Volodymyr Kovbasa	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Світлана Бондаренко Svitlana Bondarenko	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Світлана Літвинчук Svitlana Litynychuk	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Сергій Чумаченко Serhii Chumachenko	д-р техн. наук, ст. наук. сп., Україна Ph. D. Hab., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Хууб Лелієвельд Huub Lelieveld	д-р наук, проф., Нідерланди Ph. D. Hab., Prof., President of the Global Harmonization Initiatives, the Netherlands

ЗМІСТ

Автоматизація та інформаційні технології

Лисенко В. П., Поліщук Д. В., Засць Н. А. Машинне навчання в сценаріях керування температурно-вологісним режимом для тепличних комплексів

Біотехнології

Скороцька О. І., Лазюка Ю. В., Харченко Є. В. Наночастки срібла та золота: практичне застосування, біосинтез з використанням дріжджів, біологічна активність

Економіка, менеджмент і маркетинг

Грущенко А. В., Степанчук С. О. Особливості застосування інтернет-реклами та PR закладу харчування ТОВ «Домінос Піцца Юкрейн»

Гринюк Ю. М. HR-навігатор з антидискримінаційного законодавства на етапі пошуку та підбору кандидатів

Кундєєва Г. О., Тур О. В. Мікроекономічний аналіз ринку ковбасних виробів: попит

Яремич Г. С. Методи управління конфліктами в організації

Механічна та електрична інженерія

Зінкевич П. О., Балута С. М., Куєвда Ю. В. Порівняльний аналіз методів короткострокового багатокрокового прогнозування електричного навантаження

Михайлов В. М., Загорулько А. М., Загорулько О. Є. Інтенсифікація процесів концентрування та ІЧ-сушіння рослинної сировини

Петренко В. П., Масліков М. О., Бойко В. О., Мирошник М. М. Швидкість температурних релаксацій на випарних установках у перехідних режимах

Філоненко В. М. Рециркуляційна система регулювання подачі відцентрового насоса: науково-технічні аспекти реалізації

Харчові технології

Павлюченко О. С., Дейниченко Л. Г., Кравчук А. В., Матіяшчук О. В., Силка І. М. Теоретичне і практичне обґрунтування рецептурного складу мафінів яблучних спеціального призначення

Бужанська М. В., Ощипок І. М. Фізико-хімічні властивості крохмалю та крохмалепродуктів як перевага їхнього використання в харчовій промисловості

Адамчук Л. О. Мелісопалінологічні дослідження медів з українських Карпат

Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Використання ягід чорної смородини для виробництва порошкоподібних дієтичних добавок

CONTENTS

Automation and Information Technologies

7 Lysenko V., Polishchuk D., Zaiets N. Machine learning in scenarios of control of temperature-humidity regime for greenhouse complexes

Biotechnologies

18 Skrotska O., Laziuka Y., Kharchenko Y. Silver and gold nanoparticles: practical application, biosynthesis using yeast, bioactivity

Economy, Management and Marketing

32 Hrushchenko A., Stepanchuk S. Features of using internet advertising and PR establishment of LLC "Domino's Pizza Ukraine"

47 Hryniuk Y. HR-navigator on anti-discrimination legislation at the stage of searching and selection of candidates

57 Kundieieva H., Tur O. Microeconomic analysis of the sausage market: demand

67 Yaremich A. Conflict management methods in the organization

Mechanical and Electrical Engineering

77 Zinkevych P., Baluta S., Kuievda Iu. Comparative analysis of methods of short-term multi-term forecasting of electric load

93 Mykhaylov V., Zahorulko A., Zagorulko O. Intensification of concentration and IR-drying processes of vegetable raw materials

104 Petrenko V., Maslikov M., Boyko V., Miroshnik M. Speed of temperature relaxations on evaporatory installations in transitional modes

117 Filonenko V. Recirculation system of adjusting by centrifugal pump: scientific and technical aspects of realization

Food Technologies

134 Pavluchenko O., Deinychenko L., Kravchuk A., Matiyashchuk O., Sylka I. Theoretical and practical prescription justification of apple muffins for special purpose

145 Buzhanska M., Oshchypok I. Physico-chemical properties of starch and starch products as an advantage of their use in food industry

154 Adamchuk L. Melissopalynological studies on honeys from the ukrainian carpathians

165 Simakhina G., Naumenko N. Using the black currant berries for production of powderaceous dietetic supplements

- Демидова А. О., Носенко Т. Т. Дослідження антиоксидантної активності рослинної сировини із ягідних культур 175 *Demydova A., Nosenko T. Antioxidant activity of raw materials from berry plants*
- Дубівко А. С., Кочубей-Литвиненко О. В., Чернюшок О. А., Пушанко Н. М. Перспективи використання колоїдного розчину цинку при пророщуванні зерна голозерного вівса 187 *Dubivko A., Kochubei-Lytvynenko O., Cherniushok O., Pushanko N. Prospects of using colloidal zinc solution in naked oat grain germination*

MACHINE LEARNING IN SCENARIOS OF CONTROL OF TEMPERATURE-HUMIDITY REGIME FOR GREENHOUSE COMPLEXES

V. Lysenko, D. Polishchuk

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

N. Zaiets

National University of Food Technologies

Key words:

*Energy efficiency
Resource efficiency
Microclimate
Industrial greenhouse
Intelligent control system*

Article history:

Received 10.01.2022
Received in revised form
21.01.2022
Accepted 08.02.2022

Corresponding author:

N. Zaiets

E-mail:

z-n@ukr.net

ABSTRACT

The development of scenarios for managing the humidity-temperature regime of the greenhouse complex based on machine learning was carried out. Based on the results of the analysis of statistical data regarding the conditions and energy consumption (electricity and natural gas consumption) of temperature and humidity control, the non-linearity and non-stationarity of production processes in protected ground structures were established. Modeling and development of the concept of functioning of the control system for the electrotechnological complex of the greenhouse was carried out using the mathematical apparatus of neural networks. The functioning of fuzzy neural networks is based on the mechanism of productive decisions of fuzzy inferences.

A knowledge base was formed by specialists in the technological field through a set of fuzzy predicative rules. The architecture of the temperature-humidity control system was created based on the results of the system analysis. Fuzzy neural networks were synthesized for synergistic assessment of the interaction of technological parameters in the package of applied mathematical programs MatLAB. The corresponding production rules for scenario management of the humidity-temperature regime of the greenhouse complex were formed. A fuzzy expert system for determining the optimal values of temperature and humidity parameters using the Sugeno algorithm was developed, which improved the synergistic effect for different control channels by 20—60%. The use of technique for assessing the structural efficiency of control systems in greenhouse complexes with an analysis of the effect of synergy of technological parameters is substantiated. It was established that the use of fuzzy neural networks for the formation of scenarios for managing the humidity-temperature regime provides the possibility of obtaining appropriate scenarios for making managerial decisions and their operational correction.

МАШИННЕ НАВЧАННЯ В СЦЕНАРІЯХ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНИМ РЕЖИМОМ ДЛЯ ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

В. П. Лисенко, Д. В. Поліщук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Н. А. Заєць

Національний університет харчових технологій

У статті розроблено сценарії керування температурно-вологісним режимом керування в промисловій теплиці, що є основною виробничою складовою тепличного комплексу, на основі машинного навчання. На основі результатів аналізу статистичних даних щодо умов та енергозатратності (витрати природного газу та електроенергії) керування температурно-вологісним режимом, встановлено нелінійність і нестационарність виробничих процесів у спорудах закритого ґрунту. Моделювання і розробку концепції функціонування системи керування електротехнологічним комплексом теплиці виконано з використанням математичного апарату нейронних мереж. Функціонування нечітких нейронних мереж відбувається на основі механізму продукційних рішень нечітких висновків.

Сформовано базу знань у вигляді сукупності нечітких предикативних правил. Створено архітектуру системи керування температурно-вологісним режимом на основі результатів системного аналізу та синтезовано нечіткі нейронні мережі для синергетичної оцінки взаємодії технологічних параметрів у пакеті прикладних математичних програм MatLAB. Сформовано відповідні продукційні правила сценарного керування температурно-вологісним режимом у промисловій теплиці. Розроблено нечітку експертну систему визначення оптимальних значень параметрів температури та вологості із використанням алгоритму Сугено, що забезпечило покращення синергетичного ефекту для різних каналів керування на 20—60%. Обґрунтовано використання методики оцінки структурної ефективності систем керування у тепличних комплексах з аналізом ефекту синергії технологічних параметрів. Встановлено, що застосування нечітких нейронних мереж для формування сценаріїв керування температурно-вологісним режимом забезпечує можливість отримання відповідних сценаріїв прийняття управлінських рішень та їх оперативної корекції.

Ключові слова: енергоефективність, ресурсоефективність, мікроклімат, промислова теплиця, інтелектуальна система керування.

Постановка проблеми. Підвищення ефективності виробництва овочів закритого ґрунту є однією з важливих проблем розвитку аграрного сектору економіки України. Але натеper ефективність функціонування тепличних комбінатів залишається низькою. Це пов'язано насамперед з ресурсоемістю технологій виробництва. У період ринкової трансформації в умовах вільного ціноутворення почалося швидке зростання цін на матеріальні й енергетичні ресурси, яке випереджало ріст цін на овочеву продукцію. У сукупності зазначене ускладнило функціонування підприємств, що вирощують овочі закритого ґрунту.

У процесі аграрної реформи в галузі загострилися проблеми, пов'язані із застосуванням застарілих технологій виробництва, недотриманням раціональних розмірів тепличних комбінатів, недосконалою організацією праці, збутом продукції та строками її реалізації.

На сьогодні розвиток тепличних господарств суттєво сповільнився, що обумовлено високими цінами енергетичних складових (газ, електроенергія тощо) і технологічних матеріалів. Але якщо застосовувати у спорудах закритого ґрунту новітні технології, сучасне інженерне обладнання, то вирощування тепличних овочів рентабельне навіть у складних сучасних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідивши особливості регулювання мікроклімату в теплицях, можна виокремити такі можливі шляхи енергозбереження та підвищення рентабельності виробництва (Лисенко, Головінський & Заєць, 2014; Ширяев, 2013):

- реорганізація та вдосконалення традиційних систем керування мікрокліматом за рахунок нових методів і засобів автоматизованого керування відповідно до технологічних вимог;

- облік витрат енергетичних ресурсів з використанням підсистем моніторингу в режимі реального часу та застосуванням баз даних для збереження й подальшого аналізу зібраної інформації;

- використання систем опалення, що включають відновлювальні джерела енергії (сонячна радіація, енергія вітру, геотермальні води);

- розроблення систем керування інформаційними потоками основних технологічних параметрів з урахуванням синергетичного взаємовпливу параметрів мікроклімату та прогнозу зовнішніх збурень.

При вирощуванні рослин у закритому ґрунті неможливо створювати і підтримувати оптимальні умови для їхнього розвитку протягом усього періоду вегетації, оскільки не всі параметри мікроклімату піддаються керуванню на основі існуючих технологічних систем (Дудник, Заєць & Якименко, 2020; Лисенко, Головінський & Заєць, 2014). Тому необхідно встановити, яким чином пов'язані між собою різні параметри мікроклімату і як вони в комплексі впливають на продуктивність культури, що залежить від зміни параметрів, які не піддаються впливу.

З огляду на високу енергоємність тепличного рослинництва нерационально затрачати енергію, наприклад, на обігрів, коли через обмеженість інших факторів не можна буде домогтися підвищення темпів росту і розвитку рослин. Тож постає завдання з оптимізації: який кліматичний режим необхідно підтримувати, щоб одержати максимально можливий урожай при мінімальних затратах (Гіль, Пашковський & Суліма, 2008; Лисенко, Головінський & Заєць, 2014).

Тому поєднання сучасних комп'ютерно-інтегрованих рішень і синергетичних підходів є перспективним напрямом керування температурно-вологісним режимом у тепличних комплексах (Дудник, Заєць & Якименко, 2020). Оскільки показники процесів у спорудах закритого ґрунту можна кластерувати за різними ознаками (Лисенко, Заєць & Дудник, 2011), то доцільно поєднати сценарний математичний апарат з їхніми емерджентними характеристиками.

Мета дослідження: створення сценаріїв керування температурно-вологісним режимом для тепличного комплексу на основі машинного навчання.

Матеріали і методи. Результати кореляційного аналізу технологічних параметрів, що були отримані в процесі експлуатації промислових теплиць ПРАТ «Комбінат «Тепличний»» (смт Калинівка, Броварського р-ну, Київської обл.), вказують на наявність взаємовпливів між виробничими факторами із потенційною наявністю синергетичної (емерджентної) взаємодії між ними.

Викладення основних результатів дослідження. Проведено аналіз статистичних даних щодо умов та енергозатратності (витрати електроенергії та природного газу) керування температурно-вологісним режимом та встановлено нелінійність і нестационарність виробничих процесів у спорудах закритого ґрунту (зазначені процеси виступають як об'єкти керування) (Штовба, 2007). Це суттєво ускладнює подальші дослідження впливу параметрів мікроклімату, що технологічно підтримуються, на витрати енергії при вирощуванні овочевої продукції в теплицях. Тому для моделювання і розробки концепції функціонування системи керування електротехнологічним комплексом теплиці доцільно використати математичний апарат нейронних мереж, які демонструють ефективність роботи саме при аналізі й оцінці таких процесів: стохастичних, нелінійних, із розмитою інформаційною складовою.

Функціонування нечітких нейронних мереж (ННМ) відбувається на основі механізму продукційних рішень нечітких висновків і бази знань, сформованої фахівцями технологічної області у вигляді сукупності нечітких предикативних правил вигляду (Lysenko, Golovinskiy & Shtepa, 2015):

П₁: якщо $x \in A_1$, тоді $y \in B_1$,

П₂: якщо $x \in A_2$, тоді $y \in B_2$,

...

П_n: якщо $x \in A_n$, тоді $y \in B_n$,

де x — вхідна змінна (ім'я для відомих значень даних); y — змінна висновку (ім'я для значення даних, яке буде обчислене); A і B — функції належності, визначені відповідно на x і y .

При цьому знання експерта, наприклад, технолога тепличного комплексу, відображає нечітке причинне відношення передумови і висновку, тому його можна назвати нечітким відношенням і позначити через R :

$$R = A \rightarrow B, \quad (1)$$

де « $\rightarrow$ » називають нечіткою імплікацією.

Процес отримання нечіткого висновку B , можна представити у вигляді формули:

$$B' = A' \circ R = A' \circ (A \rightarrow B), \quad (2)$$

де « $\circ$ » — введена вище операція звертання.

Як операцію композиції, так і операцію імплікації в алгебрі нечітких множин можна реалізовувати по-різному (при цьому, певна річ, різнитиметься і підсумковий одержуваний результат), але загальний логічний висновок здійснюється так, як це описано нижче (Яхьяева, 2012):

1. Нечіткість (введення нечіткості, фазифікація — fuzzyfication). Функції належності, визначені на вхідних змінних, застосовуються до їх фактичних значень для визначення ступеня істинності кожної передумови для кожного правила.

2. Логічний висновок. Обчислене значення істинності для передумов кожного правила застосовується до висновків кожного правила. Звичайно, для логічного висновку використовуються тільки операції min (мінімум) або prod (множення).

У логічному виведенні мінімуму функція призначення висновку «відсікається» по висоті, відповідній обчисленому ступеню істинності передумови правила (нечітка логіка «І»). У логічному виведенні множення функція належності висновку масштабується за допомогою обчисленого ступеня істинності передумови правила.

3. Композиція. Всі нечіткі підмножини, призначені для кожної змінної висновку (у всіх правилах), об'єднуються разом, щоб сформуванати одну нечітку підмножину для кожної змінної висновку.

При такому об'єднанні, зазвичай, використовуються операції $\max$ (максимум) або $\sum$ (сума). При композиції максимуму комбіноване виведення нечіткого здійснюється як поточковий максимум усіх нечітких підмножин (нечітка логіка «АБО»). При композиції суми комбіноване виведення нечіткої підмножини здійснюється як поточкова сума всіх нечітких підмножин, присвоєних змінній правилами логічного висновку.

4. Приведення до чіткості (дефазифікація — defuzzyfication). Використовується, коли корисно перетворити нечіткий набір висновків у чітке число.

Для формування сценаріїв у вигляді розглянутих продукційних правил застосовуються підходи нечітких нейронних мереж із використанням, наприклад, алгоритму зворотного розповсюдження помилки. Навчання включає такі кроки (Рутковская, 2004):

1) задаються деякі η ($0 < \eta < 1$), $E_{\max}$ і деяка мала випадкова вага w_i мережі;

2) задаються $k = 1$ і $E = 0$;

3) вводиться чергова навчальна пара (x^k, y^k) ; вводяться позначення:

$$x := x^k, \quad y := y^k, \quad (3)$$

і обчислюється величина виходу мережі:

$$O = \frac{1}{1 + e^{-W^T O}}, \quad (4)$$

де W — вектор вагів вихідного нейрона; T_O — вектор виходів нейронів прихованого шару з елементами:

$$o_i = \frac{1}{1 + e^{-w_i^T x}}, \quad (5)$$

w_i позначає вектор вагів, пов'язаних з i -м прихованим нейроном, $i = 1, 2, \dots, L$.

4) проводиться коректування терезів вихідного нейрона:

$$W := W + \eta \delta o, \quad (6)$$

де $\delta = (y - o) o (1 - o)$. (7)

5) коректується вага нейронів прихованого шару:

$$w_i := w_i + \eta \delta W_i o_i (1 - o_i), i = 1, 2, \dots, L. \quad (8)$$

6) корегується (нарощується) значення функції похибки:

$$E := E + \frac{1}{2} (y - o)^2. \quad (9)$$

Якщо $k < N$, тоді $k := k + 1$ і відбувається перехід до кроку 3, у протилежному випадку — перехід на крок 7.

7) завершення циклу навчання. Якщо $E < E_{\max}$, то закінчення всієї процедури навчання; якщо $E \geq E_{\max}$, тоді починається новий цикл навчання з переходом до кроку 2.

На основі результатів системного аналізу й оцінки виробничого функціонування тепличного комплексу створено архітектуру системи керування температурно-вологісним режимом (рис. 1).

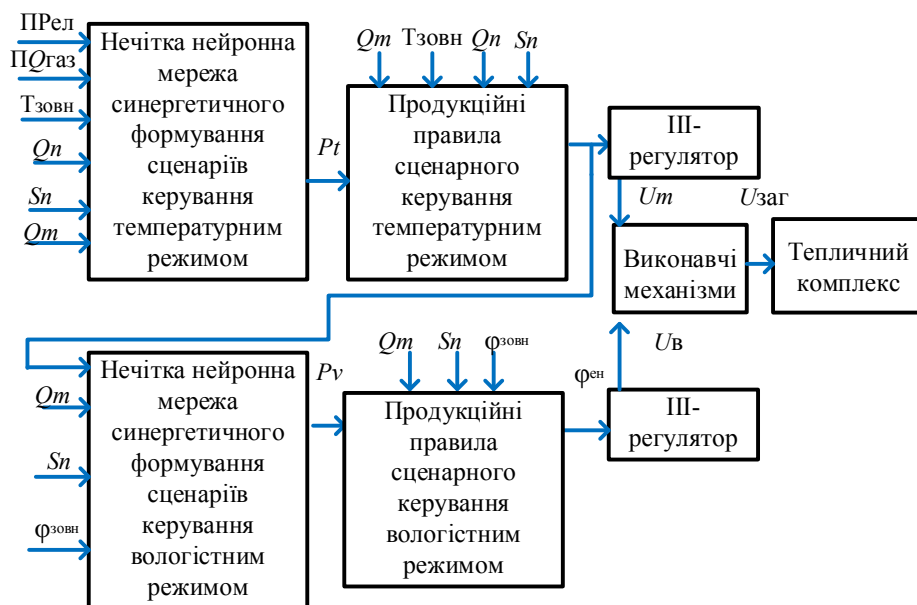
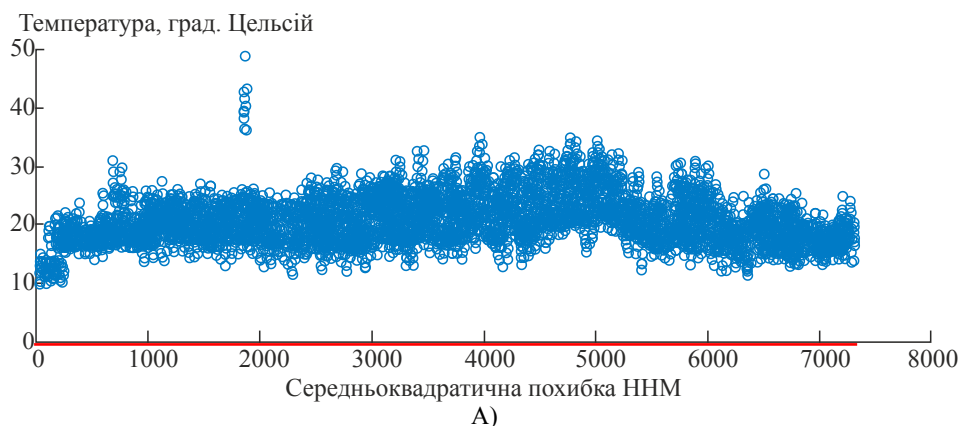


Рис. 1. Структура системи керування температурно-вологісним режимом тепличного комплексу на основі сценарно-синергетичного підходу:

Q_m — продуктивність системи туманоутворення; $T_{зовн}$ — температура повітря зовні теплиці; Q_n — потужність обігрівачів повітря теплиці; S_n — поглинаюче теплицею сонячне випромінювання; $\phi_{зовн}$ — відносна вологість повітря зовні теплиці; $\phi_{ен}$ — задана вологість всередині теплиці; P_t — база знань керування температурним режимом; P_v — база знань керування вологісним режимом; $U_{заг}$ — комплексна керуюча дія; U_m — керуюча дія за температурою; U_v — керуюча дія за вологістю; $Пр_{ел}$ — прогнозована потужність нагріву системи опалення; $ПQ_{газ}$ — прогнозовані витрати газу



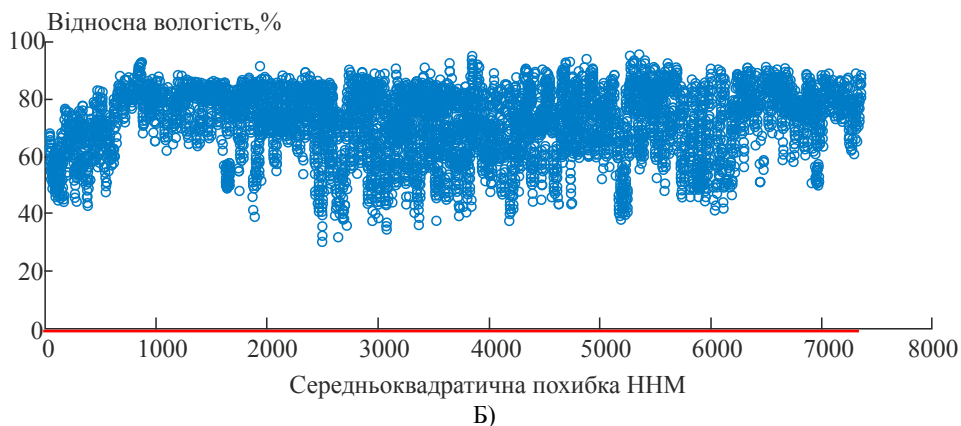
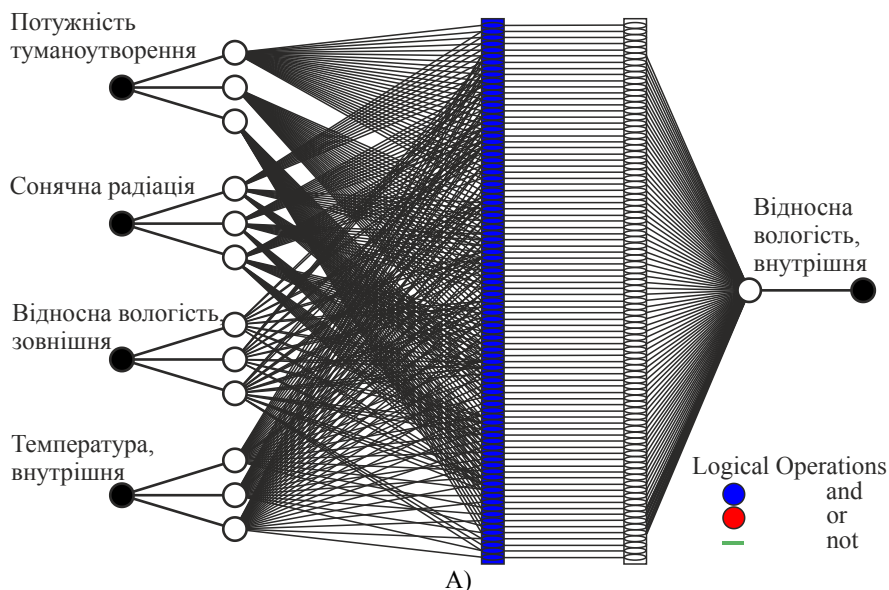


Рис. 2. Оцінка якості функціонування відповідних ННМ синергетичного формування сценаріїв керування температурно-вологісним режимом у спорудах закритого ґрунту: А — оцінка ефективності функціонування ННМ температурним режимом (середньоквадратична похибка — 1,84%); Б — оцінка ефективності функціонування ННМ вологісним режимом (середньоквадратична похибка — 1,12%)

У пакеті прикладних математичних програм MatLAB синтезовано відповідні нечіткі нейронні мережі для синергетичної оцінки взаємодії технологічних параметрів (рис. 2). При синтезі ННМ сценарного керування були використані статистичні дані, отримані на підприємстві ПРАТ «Комбінат «Тепличний»».

За результатами використання алгоритму зворотного розповсюдження помилок отримали відповідні архітектури ННМ (рис. 3).



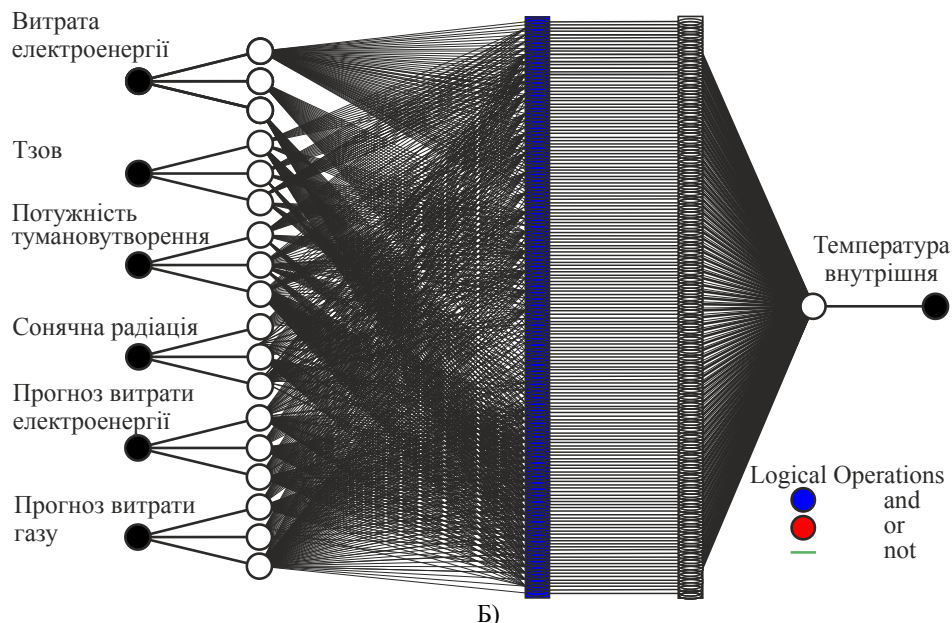


Рис. 3. Архітектури ННМ системи керування температурно-вологісним режимом: А — керування за каналом «Температура»; Б — керування за каналом «Вологість»

Встановивши достатню якість навчання ННМ (рис. 2), перейшли до етапу формування відповідних продукційних правил (рис. 4).

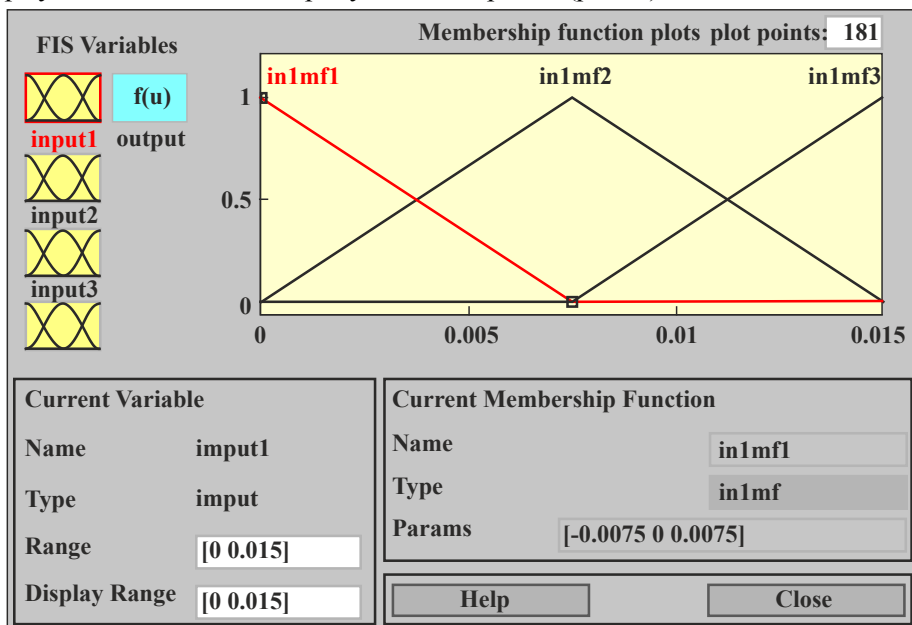


Рис. 4. Нечітка система керування температурно-вологісним режимом тепличного комплексу: візуалізація функцій належності ННМ синергетичного формування оптимального значення вологості

Для цього застосували алгоритм Сугено, який передбачає ряд кроків:

1) нечіткість: знаходяться ступені істинності для передумов кожного правила, наприклад: $A_1(x_0), A_2(x_0), B_1(y_0), B_2(y_0)$;

2) на другому етапі знаходяться:

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= A_1(x_0) \wedge B_1(y_0), \\ \alpha_2 &= A_2(x_0) \wedge B_2(y_0),\end{aligned}\tag{10}$$

індивідуальні виходи правил:

$$\begin{aligned}z_1^* &= a_1x_0 + b_1y_0, \\ z_2^* &= a_2x_0 + b_2y_0,\end{aligned}\tag{11}$$

3) на третьому етапі визначається чітке значення змінної висновку

$$z_0 = \frac{\alpha_1 z_1^* + \alpha_2 z_2^*}{\alpha_1 + \alpha_2}.\tag{12}$$

Аналогічні трикутні функції належності і ННМ температури. На основі синтезованих ННМ отримано можливість із використанням програмного інтерфейсу FIS-Editor оцінювати взаємовплив різних технологічних параметрів на відгук каналів керування та визначати оптимальні значення температурно-вологісного режиму. Відповідно, реалізовані в методології ННМ дали змогу створити продукційні правила сценарного керування процесами в тепличному комплексі (таблиця).

Таблиця. Опис сценарних елементів системи керування температурно-вологісним режимом у тепличному комплексі

Канал керування	Кількість створених сценаріїв	Логічні модифікатори,	Алгоритм реалізації сценарію
«Температурний режим»	729	«ЯКЩО», «І», «МАЄ ЗНАЧЕННЯ», «ТОДІ»	Нечіткий висновок на основі алгоритму Сугено
«Вологісний режим»	81	«ЯКЩО», «І», «МАЄ ЗНАЧЕННЯ», «ТОДІ»	Нечіткий висновок на основі алгоритму Сугено

При цьому логічна структура продукційних правил для каналу керування «Температурний режим» така:

- *при синергетичному формуванні управлінських сценаріїв:*

ЯКЩО Q_t (продуктивність системи туманоутворення) «МАЄ ЗНАЧЕННЯ» «І» $T_{зовн}$ (температура повітря ззовні теплиці) «МАЄ ЗНАЧЕННЯ» «І» Q_n (потужність обігрівачів повітря теплиці) «МАЄ ЗНАЧЕННЯ» «І» S_n (поглинаюче теплицею сонячне випромінювання) «МАЄ ЗНАЧЕННЯ» «І» $PR_{ел}$ (прогнозована потужність нагріву системи опалення) «МАЄ ЗНАЧЕННЯ» «І» $PQ_{газ}$ (прогнозовані витрати газу) «МАЄ ЗНАЧЕННЯ» «ТОДІ» $T_{вн}$ (задана всередині теплиці температура) «МАЄ ЗНАЧЕННЯ»;

- *при штатному керуванні:*

ЯКЩО Q_t (продуктивність системи туманоутворення) «МАЄ ЗНАЧЕННЯ» «І» $T_{зовн}$ (температура повітря ззовні теплиці) «МАЄ ЗНАЧЕННЯ» «І» Q_n (потужність обігрівачів повітря теплиці) «МАЄ ЗНАЧЕННЯ» «І» S_n (поглинаюче

теплицею сонячне випромінювання) «МАС ЗНАЧЕННЯ» «ТОДІ» $T_{вн}$ (задана всередині теплиці температура) «МАС ЗНАЧЕННЯ».

Форма продукційних правил для каналу керування «Вологісний режим» така:

- *при синергетичному формуванні управлінських сценаріїв:*

«ЯКЩО» $T_{вн}$ (задана всередині теплиці температура) «МАС ЗНАЧЕННЯ» «І» Q_t (продуктивність системи туманоутворення) «МАС ЗНАЧЕННЯ» «І» $S_{п}$ (поглинаюче теплицею сонячне випромінювання) «МАС ЗНАЧЕННЯ» «І» $\phi_{зовн}$ (відносна вологість повітря ззовні теплиці) «МАС ЗНАЧЕННЯ» «ТОДІ» $\phi_{зовн}$ (задана вологість всередині теплиці) «МАС ЗНАЧЕННЯ».

- *при штатному керуванні:*

«ЯКЩО» Q_t (продуктивність системи туманоутворення) «МАС ЗНАЧЕННЯ» «І» $S_{п}$ (поглинаюче теплицею сонячне випромінювання) «МАС ЗНАЧЕННЯ» «І» $\phi_{зовн}$ (відносна вологість повітря ззовні теплиці) «МАС ЗНАЧЕННЯ» «ТОДІ» $\phi_{зовн}$ (задана вологість всередині теплиці) «МАС ЗНАЧЕННЯ».

За результатами проведених досліджень і випробувань можна зробити висновок про обґрунтоване створення методики оцінки структурної ефективності систем керування в тепличних комплексах при їх проєктуванні чи модернізації з аналізом ефекту синергії технологічних параметрів (рис. 5).

Потенційно такий підхід дасть змогу значно заощадити кошти як на етапі проєктування (основні фонди), так і на етапі подальшої експлуатації систем керування в тепличних комплексах.



Рис. 5. Методика оцінки структурної ефективності систем керування у спорудах закритого ґрунту при їх проєктуванні (модернізації) на основі синергетичних підходів

Висновки

За результатами системного аналізу й оцінки виробничого функціонування тепличного комплексу створено сценарії керування температурно-вологісним режимом керування в промисловій теплиці тепличного комплексу на основі машинного навчання. Обґрунтовано, що явище синергії забезпечує додатковий ефект порівняно із сумарним ефектом вкладу кожного з елементів системи.

Сформовано продукційні правила сценарного керування температурно-вологісним режимом у промисловій теплиці тепличного комплексу («Температурний режим» — 729 шт., «Вологісний режим» — 81 шт.) та розроблено нечітку експертну систему визначення оптимальних значень параметрів температури та вологості на основі використання алгоритму Сугено, що забезпечує покращення синергетичного ефекту для різних каналів керування на 20—60%.

Встановлено, що використання нечітких нейронних мереж для формування сценаріїв керування температурно-вологісним режимом (середньоквадратична похибка для температури — 1,84%; для вологості — 1,12%) забезпечують можливість отримання відповідних сценаріїв прийняття управлінських рішень та їх оперативної корекції.

Література

Гіль, Л., Пашковський, А., & Суліма, Л. (2008). *Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту*. Вінниця: Нова Книга.

Дудник, А., Заєць, Н., Лендел, Т., Гачковська М., & Якименко І. (2020). *Розроблення ресурсоефективних режимів вирощування овочевої продукції в тепличних комплексах*. Київ: Прінтеко.

Лисенко, В., Заєць, Н., Штепа, В., & Дудник А. (2011). *Нейромережеве прогнозування часових рядів температури навколишнього природного середовища*. Київ: Біоресурси і природокористування.

Ковалева, А. (2008). *Модели развития и стратегическое управление предприятием*. Москва: Аудит и финансовый анализ.

Лисенко, В., Головінський, Б., Решетюк, В., Штепа, В., & Заєць, Н. (2014). *Природні збурення біотехнічних об'єктів, їх моделювання та прогнозування*. Київ: НУБІП України.

Рутковская, Д. (2004). *Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы*. Москва: Горячая линия — Телеком.

Волкова, В., & Емельянова, А. (2006). *Теория систем и системный анализ в управлении организациями*. Москва: Финансы и статистика.

Ширяев, В., & Ширяев, Е. (2013). *Принятие решений. Прогнозирование в глобальных системах*. Москва: Либроком.

Штовба, С. (2007). *Проектирование нечетких систем средствами MATLAB*. Москва: Горячая Линия — Телеком.

Яхьяева, Г. (2012). *Нечеткие множества и нейронные сети*. Москва: Бином.

Lysenko, V., Golovinskiy, B., Reshetyuk, V., Shcherbatyuk, V., & Shtepa, V. (2015). Energy-efficient modes for management of biotechnical objects based on natural disturbances prediction. *Annals of Warsaw University of Life Sciences — SGGW Agriculture*. 65, 111—118 [in English].

Oparin, S. G. (2020). Sinergy in Integrated Systems of Risk ManagemeSinergy in Integrated Systems of Risk Management and its Accounting in the Digital Economynt and its Accounting in the Digital Economy. *Issues of Risk Analysis*, 13(2), 53—63. doi: 10.18721/JE.13205 [in English].

SILVER AND GOLD NANOPARTICLES: PRACTICAL APPLICATION, BIOSYNTHESIS USING YEAST, BIOACTIVITY

O. Skrotska, Y. Laziuka, Y. Kharchenko

National University of Food Technologies

Key words:

Silver nanoparticles
Gold nanoparticles
Biosynthesis
Yeast
Antimicrobial activity
Anticancer activity

Article history:

Received 25.01.2022
Received in revised form
07.02.2022
Accepted 17.02.2022

Corresponding author:

O. Skrotska
E-mail:
skrotska@ukr.net

ABSTRACT

There are different methods for the synthesis of silver and gold nanoparticles: chemical and physical methods, as well as biogenic synthesis. Due to a number of disadvantages which are inherent in the chemical and physical synthesis of nanoparticles — the use of toxic and expensive reagents, high synthesis temperature or pressure, negative impact on the environment, so the promising method is the biological synthesis of nanoparticles. When choosing a model for the biosynthesis of silver and gold nanoparticles, it is necessary to take into account its advantages and disadvantages. Among the advantages of using yeast is that, unlike most bacteria, they are easier to work with because they do not require specific biosecurity measures.

The article provides information on the use of biomass, cell-free aqueous extract, culture fluid or its supernatant for the biosynthesis of silver and gold nanoparticles. Yeasts of the genera *Saccharomyces*, *Yarrowia*, *Magnusiomyces*, *Phaffia*, *Candida*, *Rhodotorula*, *Cryptococcus*, *Metschnikowia*, *Meyerozyma* were used. It is shown due to which compounds the bioreduction and stabilization of gold and silver ions can occur: amine, amide and hydroxyl groups of proteins, NADH, amino acids, carbohydrates and sugars, melanin, enzymes, vitamins.

Silver and gold nanoparticles exhibit antimicrobial activity, they are effective against antibiotic-resistant microorganisms. The presented material provides data on the antibacterial and antifungal effects of these nanoparticles against pathogens of intestinal infections, shigellosis, pneumonia, dermatitis, candidiasis, fungal diseases, and others. Scientific sources where the information about mechanisms of the antimicrobial action of silver and gold nanoparticles was given were also analyzed.

Nowadays, the antitumor effect of gold and silver nanoparticles was established. Thus, their anticancer effect was proven on models of carcinoma of the breast, stomach, lungs, placenta, human choriocarcinoma. The antitumor effect of nanoparticles is explained by the activation of the caspase enzyme, which triggers a cascade of apoptosis-related reactions. Another explanation for the anti-cancer effect is an increase in reactive oxygen species inside tumor cells. At the same time, nanoparticles do not have toxic effect on normal human cells.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-1-4

НАНОЧАСТКИ СРІБЛА ТА ЗОЛОТА: ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ, БІОСИНТЕЗ З ВИКОРИСТАННЯМ ДРІЖДЖІВ, БІОЛОГІЧНА АКТИВНІСТЬ

О. І. Скроцька, Ю. В. Лазюка, Є. В. Харченко

Національний університет харчових технологій

Існують різні способи синтезу наночастинок срібла і золота: хімічні та фізичні методи, а також біогенний синтез. Через ряд недоліків, які притаманні хімічному та фізичному синтезу наночастинок — використання токсичних і дороговартісних реагентів, висока температура синтезу або тиск, негативний вплив на довкілля, перспективним є саме біологічний синтез вказаних наночастинок. При виборі об'єкта для біосинтезу наночастинок срібла і золота необхідно врахувати його переваги та недоліки. Серед переваг використання дріжджів те, що вони, на відміну від більшості бактерій, більш прості й безпечні в роботі, адже не потребують специфічних заходів біобезпеки.

У статті наведено інформацію щодо використання біомаси, безклітинного водного екстракту, культуральної рідини або її супернатанту для біосинтезу наночастинок срібла і золота. При цьому використовували дріжджі родів *Saccharomyces*, *Yarrowia*, *Magnusiomyces*, *Phaffia*, *Candida*, *Rhodotorula*, *Cryptococcus*, *Metschnikowia*, *Meyerozyma*. Показано, за рахунок яких сполук може відбуватись біовідновлення іонів золота та срібла та їх стабілізація: амінні, амідні та гідроксильні групи білків, НАДН, амінокислоти, вуглеводи і цукри, меланін, ферменти, вітаміни.

Наночастки срібла та золота проявляють антимікробну активність, вони є дієвими проти антибіотикорезистентних мікроорганізмів. У представленому матеріалі наведені дані щодо антибактеріальної та протигрибкової дії вказаних наночастинок щодо збудників кишкових інфекцій, шигельозу, пневмонії, дерматитів, кандидозів, грибкових захворювань тощо. Також проаналізовано наукові джерела, в яких автори досліджують механізми антимікробної дії наночастинок срібла та золота.

На сьогодні встановлено протипухлинну дію наночастинок золота та срібла. Так, доведено їх антиракову дію на моделях карциноми молочної залози, шлунку, легень, хоріокарциноми плаценти людини. Протипухлинну дію наночастинок пояснюють активацією ферменту каспази, який запускає каскад реакцій, пов'язаних з апоптозом. Іншим поясненням протиракової дії є збільшення активних форм кисню всередині пухлинних клітин. При цьому на нормальні клітини людини наночастки не чинять токсичної дії.

Ключові слова: наночастки срібла, наночастки золота, біосинтез, дріжджі, антимікробна дія, протиракова активність.

Постановка проблеми. У наш час нанотехнології знайшли своє застосування в таких галузях промисловості, як харчова, хімічна, косметична, енергетична, фармацевтична, медична тощо. Існує безліч методів синтезу наночастинок, які можна поділити на фізико-хімічні та біологічні. Досить поширений хімічний синтез, проте біосинтез є більш перспективним через ряд переваг. Так, хімічний

метод передбачає здійснення реакцій синтезу під вакуумом або в атмосфері інертного газу, що робить виробництво наночасток досить вартісним. Синтезовані хімічним способом наночастки схильні до агрегації, а отримані біологічними методами є стабільними впродовж декількох місяців. Також слід зазначити, що при біологічному синтезі наночасток використовують природні реагенти, що робить виробництво безпечним для навколишнього середовища і людини.

У 2020 р. ми опублікували огляд (Харченко & Скроцька, 2020), у якому узагальнили дані літератури щодо можливостей використання бактерій, грибів і дріжджів для біосинтезу різних наночасток (золота, срібла, міді, заліза, платини, паладію, оксиду цинку, діоксиду титану), їх властивостей і перспектив можливого застосування. Також ми показали різні підходи авторів до параметрів біогенного синтезу наночасток з використанням мікроорганізмів і різні способи використання біологічної системи для синтезу наночасток.

Вибір об'єкта для біосинтезу наночасток має свої переваги та недоліки. Недоліком використання рослин є великі площі для їх вирощування, тривалість росту, витрати на збір рослин та екстракцію біомолекул, що беруть участь у синтезі наночасток (Castillo-Henriquez та ін., 2020). При використанні міцеліальних грибів недоліком є тривалий час їх культивування (Bahrulolum та ін., 2021). Використання бактерій, порівняно з рослинами та грибами, має ряд переваг, проте слід зазначити, що бактерії — це прокаріоти, тому продукти їх метаболізму матимуть меншу біосумісність, оскільки в них, якщо порівняти з еукаріотичними моделями, відсутні системи кепування та поліаденілювання, що захищають біомолекули і наночастки від деградації й утворення токсичних сполук в організмі (Liu та ін., 2021). Серед переваг використання дріжджів, порівняно з бактеріями, є те, що дріжджі, на відміну від більшості бактерій, більш прості й безпечні в роботі, тому що не потребують специфічних заходів біобезпеки (Grasso, Zane & Dragone, 2020).

Тому **метою пропонованого огляду** є аналіз наукової літератури щодо можливостей використання дріжджів для біосинтезу наночасток срібла і золота, можливі механізми цього синтезу, а також біологічні властивості біогенних наночасток, що в перспективі дасть змогу використовувати їх в антимікробній і протираковій терапії.

Викладення основних результатів дослідження. Практичне застосування. Наночастки золота (AuNPs) і срібла (AgNPs) використовують у різних галузях — медицині, сільському господарстві, харчовій промисловості, хімічній і нафтохімічній промисловості, електроніці. При цьому наночастки цих металів, отримані з використанням дріжджів, не містять токсичних речовин, які використовуються при їх хімічному синтезі. Саме тому біогенні наночастки мають дуже широкий спектр застосування.

AuNPs використовують у біомедицині як сполуки, що підвищують контрастність при проведенні оптичної когерентної, а також фотоакустичної томографії (Agnihotri, Joshi, Kumar, Zinjarde & Kulkarni, 2009). Їх застосовують як каталізатори у процесі конверсії 4-нітрофенолу (токсична сполука, яка міститься у стічних промислових водах) у 4-амінофенол (важливий проміжний продукт для виробництва знеболювальних і жарознижувальних препаратів) (Chang & Chen, 2009). Золоті наночастки є ефективними фототермічними перетворювачами, які при дії на ракові клітини спричиняють їх гіпертермію, забезпечуючи таким чином терапевтичний ефект (Skrabalak, Chen, Sun, Lu & Au, 2008).

AgNPs мають досить широке застосування: як носії для адресної доставки ліків, наприклад, протипухлинних сполук; антигени та препарати генної терапії; у складі біосенсорів для виявлення білків, імуноглобулінів і нуклеїнових кислот; у складі стоматологічних матеріалів і косметичних засобів; як покриття медичних виробів із нержавіючої сталі. Також AgNPs застосовуються у молекулярній діагностиці, каталізі, електроніці, оптиці, очистці води та протипухлинній терапії (Jalal та ін., 2018; Salvadori, Monezi, Mehnert & Correa, 2019; Shu та ін., 2020). Відомо, що наночастки срібла використовують як протимікробні засоби, оскільки AgNPs показали суттєву антимікробну активність щодо грибів і вірусів, а також антибіотикорезистентних штамів бактерій. При цьому наночастки срібла мають низьку цитотоксичність щодо нормальних клітин тварин і людини (Shu та ін., 2020).

Біосинтез наночастинок золота і срібла з використанням дріжджів. Синтез AuNPs за допомогою дріжджів (табл. 1) можливий при використанні безклітинного водного дріжджового екстракту (Ronavari, Igaz & Gopisetty, 2018), супернатанту (Yang та ін., 2017) та безпосередньо самих клітин дріжджів (Zhang та ін., 2016). Як попередник біосинтезу використовують тетрахлорауронову кислоту (HAuCl_4) в концентраціях від 0,6 до 100 мМ (Mourato, Gadanho & Lino, 2011; Kumar, Karthik, Kumar & Roa, 2011; Nair, Sambre, Joshi & Bankar, 2013; Qu та ін., 2018; Ronavari, Igaz & Gopisetty, 2018). Процес біосинтезу наночастинок золота відбувається переважно при 30°C (Mishra, Tripathy & Yun, 2011; Yang та ін., 2017) упродовж різного часу витримки. Він може проходити як у статичних умовах, так і при перемішуванні (Zhang та ін., 2016; Qu та ін., 2018; Ronavari, Igaz & Gopisetty, 2018). У результаті біосинтезу формуються наночастки різноманітної форми та розмірів (Mourato, Gadanho & Lino, 2011; Nair, Sambre, Joshi & Bankar, 2013; Yang та ін., 2017). Цікавим є те, що в публікаціях 2009—2017 рр. для біосинтезу AuNPs використовували переважно морські дріжджі (Agnihotri, Joshi, Kumar, Zinjarde & Kulkarni, 2009; Nair, Sambre, Joshi & Bankar, 2013; Zhang та ін., 2016; Qu та ін., 2018).

Таблиця 1. Біосинтез наночастинок золота за допомогою дріжджів

Дріжджі	Умови біосинтезу	Розміри AuNPs, нм	Джерело
1	2	3	4
<i>Біомаса дріжджів</i>			
<i>Yarrowia lipolytica</i> NCIM 3589	1 мМ HAuCl_4 , 30°C, 120 год, 130 об/хв	9—27	Pimprikar, Joshi, Kumar, Zinjarde & Kulkarni, 2009
<i>Magnusiomyces ingens</i> LH-F1	1 мМ HAuCl_4 , 30°C, 24 год, перемішування	137	Zhang та ін., 2016
<i>Безклітинний водний екстракт</i>			
<i>Phaffia rhodozyma</i> ATCC 24203	100 мМ HAuCl_4 , 22°C, 24 год, pH 6,7, перемішування	4—7	Ronavari, Igaz & Gopisetty, 2018
<i>Magnusiomyces ingens</i> LH-F1	2,5 мМ HAuCl_4 , 30°C, 48 год, перемішування	20—30	Qu та ін., 2018
Екстермофільні дріжджі	0,6 мМ HAuCl_4 , 24 год	30—100	Mourato, Gadanho & Lino, 2011

1	2	3	4
Супернатант культуральної рідини			
Сухі хлібопекарські дріжджі	2,5 мМ HАuCl ₄ , 30°C, 5 год	200— 1300×15— 18	Yang та ін., 2017
<i>Candida guilliermondii</i> KCCM 11960	1 мМ HАuCl ₄ , 30°C, 56 год, 200 об/хв	50—70	Mishra, Tripathy & Yun, 2011

Щодо механізмів біосинтезу наночастинок золота з використанням дріжджів, то на сьогодні є кілька гіпотез, які пояснюють можливі шляхи цього процесу. Так, показано можливість використання безклітинного водного екстракту морських дріжджів *Magnusiomyces ingens* LH-F1 для отримання AuNPs. При цьому формуються наночастки сферичної форми. Механізм такого біосинтезу полягає в тому, що іони золота (Au³⁺) спочатку зв'язуються з поверхнею білків, які присутні у водному екстракті дріжджів, а потім відновлюються до Au⁰ та зв'язуються з карбоксильними та амініними групами білків. Також деякі аміні та гідроксильні групи білків можуть взаємодіяти з AuNPs, що запобігає агрегації наночастинок (Qu та ін., 2018).

Було показано, що деякі білки, що містять амідні та гідроксильні групи, можуть адсорбуватися на поверхні AuNPs, спричиняючи зменшення концентрації Au³⁺ та стабілізації AuNPs (Zhang та ін., 2016). Встановлено, що саме НАДН бере участь у відновленні Au³⁺ до Au⁰, але він не бере участі у стабілізації вже утворених наночастинок. Зроблено припущення, що за стабілізацію наночастинок золота відповідають вуглеводи і цукри (Kumar, Karthik, Kumar & Roa, 2011). А в дослідженні Mourato було показано, що компоненти клітинної стінки дріжджів беруть участь у процесі формування AuNPs (Mourato, Gadanho & Lino, 2011).

Іншим механізмом біосинтезу наночастинок золота з використанням дріжджів може бути редукція іонів Au³⁺ та стабілізація AuNPs за допомогою амінокислот, особливо глутамінової кислоти, а також органічних кислот — бурштинової, яблучної та молочної (Yang та ін., 2017).

У праці (Nair, Sambre, Joshi & Bankar, 2013) була висунута гіпотеза, що ключову роль у біосинтезі наночастинок золота бере участь меланін, який міститься в клітинах дріжджів. Клітинно-асоційований меланін є одним з факторів, що опосередковують відновлення іонів золота до елементарних наноструктур золота, оскільки меланіни є сильними антиоксидантами.

Дослідження процесу біосинтезу наночастинок срібла з використанням дріжджів розпочались близько 20 років тому і до сьогодні не втрачають своєї актуальності. У 2003 р. Kowshik з колегами вдалось отримати AgNPs досить малих розмірів (2—5 нм) за допомогою толерантних до срібла дріжджів (Kowshik та ін., 2003). Отримання наночастинок срібла, як і наночастинок золота, з використанням дріжджів може відбуватись за рахунок біоредукції іонів срібла з використанням супернатанту дріжджів (Fernandez та ін., 2016; Badhusha & Mohideen, 2016; Jalal та ін., 2018), безклітинного водного екстракту (Salvadori, Monezi, Mehnert & Correa, 2019; Soliman, Elsayed & Dyaa, 2018; Sowbarnika, Anhuradha & Preetha 2018; Shu та ін., 2020), а також клітинної біомаси (Korbekandi, Mohseni, Mardani Jouneghani, Pourhossein & Iravani, 2016). Біосинтез AgNPs може відбуватись при різних температурних режимах і тривалості (табл. 2).

Таблиця 2. Отримання біогенних наночасток срібла

Дріжджі, які були використані для біосинтезу	Умови біосинтезу	Розміри AgNPs, нм	Джерело
<i>Біомаса дріжджів</i>			
<i>Candida albicans</i>	1,5 мМ AgNO ₃ , 37°C, 48 год, 50 об/хв	20—80	Rahimi, Alizadeh & Khodavandi, 2016
<i>Yarrowia lipolytica</i> DSM 3286	2,5 мМ AgNO ₃ , 30°C, 48 год, pH 6, 250 об/хв	16	Bolbanabad, Ashengroph & Darvishi, 2020
<i>Безклітинний водний екстракт</i>			
<i>Rhodotorula</i> sp. ATL72	1 мМ AgNO ₃ , 24 год	9—21	Soliman, Elsayed & Dyaа, 2018
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	100 мг/л AgNO ₃ , 30 °C, 60 год, 150 об/хв	11	Salvadori, Monezi, Mehnert & Correa, 2019
<i>Rhodotorula glutinis</i>	1 мМ AgNO ₃ , 25°C, 168 год	15,5	Cunha та ін., 2018
<i>Супернатант культуральної рідини</i>			
<i>Candida glabrata</i>	1 мМ AgNO ₃ , 25°C, 24 год	2—15	Jalal та ін., 2018
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	1 мМ AgNO ₃ , 30°C, pH 6, 24 год	10—40	Badhusha & Mohideen, 2016
<i>Cryptococcus laurentii</i> BNM 0525	1 мМ AgNO ₃ , 28°C, 48 год, 100 об/хв (відновлення іонів Ag у реакції з нітратредуктазою)	35—400	Fernandez та ін., 2016
<i>Metschnikowia</i> sp. HX-YS	10 мМ AgNO ₃ , pH 6, 26°C, 96 год	50—100	Liu та ін., 2021
<i>Культуральна рідина</i>			
<i>Meyerozyma guilliermondii</i> KX008616	5 мМ AgNO ₃ , 30°C, 24 год, pH 7	2,5—30	Alamri та ін., 2018
<i>Candida lusitanae</i>	3,5 мМ AgNO ₃ , 30°C, 168 год, 150 об/хв	3—83	Eugenio та ін., 2016
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> PTCC 5052	2 мМ AgNO ₃ , 25°C, 24 год, 150 об/хв	5—20	Niknejad, Nabili, Daie Ghazvini & Moazeni, 2015

У 2011 р. при використанні супернатанту морських дріжджів *Candida* sp. VITDKGB були отримані AgNPs. Автори визначали активність нітратредуктази у супернатанті, яка становила 320 ммоль/год/мл і зробили припущення, що саме цей фермент бере участь у біосинтезі наночасток срібла (Kumar, Karthik, Kumar & Roa, 2011). А у 2016 р. при використанні супернатанту *Cryptococcus laurentii* BNM 0525 уже було встановлено, що біоредукція срібла відбувається за участі саме дріжджової нітратредуктази (Fernandez та ін., 2016). Mourato зі співробітниками показали, що значну роль у біосинтезі наночасток відіграють речовини, що містяться в клітинній стінці дріжджів. Іони срібла відновлюються присутніми у клітинній стінці ферментами, що призводить до утворення «ядер» з Ag⁰, які згодом збільшуються шляхом подальшого відновлення іонів Ag⁺. Також було зроблене припущення, що іони срібла можуть дифундувати через клітинну стінку і відновлюватись ферментами, присутніми на цитоплазматичній мембрані і всередині цитоплазми (Mourato, Gadanho & Lino, 2011).

Щодо механізмів біосинтезу AgNPs за допомогою дріжджів, то вважається, що такі речовини, як білки, амінокислоти, ферменти, вітаміни, полісахариди діють як відновники і стабілізатори наночастинок срібла. При використанні безклітинного водного дріжджового екстракту формування наночастинок срібла розпочинається з відновлення іонів Ag^+ до Ag^0 сполуками, що містяться в самому екстракті, включаючи амінокислоти, вітаміни та вуглеводи. А далі відбувається стабілізація утворених наночастинок срібла (Shu та ін., 2020). Однак найбільш широко прийнятий механізм біосинтезу AgNPs при використанні дріжджів, що обумовлений НАДН-залежною нітратредуктазою. Встановлено, що відновлення іонів срібла відбувається за допомогою перенесення електронів з НАДН. Після цього відбувається стабілізація наночастинок срібла за рахунок наявних у реакційній суміші біомолекул (Shabbir & Mohammad, 2018).

У 2018 р. було здійснено біосинтез AgNPs з використанням культуральної рідини *Meyerozyma guilliermondii* KX008616. Автори дослідження висунули кілька припущень щодо можливих механізмів відновлення іонів срібла дріжджами. Перший механізм — участь системи ферментів нітратредуктаз, які каталізують реакції відновлення іонів срібла в присутності АТФ і НАДН. Другий — активація специфічного поліпептиду, який може зв'язуватись з катіонами срібла, утворюючи при цьому специфічний комплекс, що транспортується у клітинні вакуолі, де й відбувається відновлення іонів срібла. Третій — утворення наночастинок срібла на поверхні клітин. Це може бути обумовлено електростатичною взаємодією між Ag^+ і наявними на поверхні дріжджових клітин негативно зарядженими карбоксилатними групами специфічних ферментів або білків (Alamri та ін., 2018).

Антимікробна дія. З літературних джерел відомо, що наночастки золота та срібла використовують як антибактеріальні та антифунгальні засоби. Наночастки демонструють значну антимікробну активність щодо збудників таких захворювань, як пневмонія, шигельоз, дерматити, нозокоміальні інфекції, аспарагільоз, кандидоз тощо (табл. 3). Що стосується механізму їх антимікробної дії, то припускається, що AgNPs та AuNPs пригнічують реплікацію ДНК, блокують різницю електричного потенціалу, який утворюється в цитоплазматичних мембранах клітин, а також пригнічують дихальний ланцюг (Shu та ін., 2020).

Таблиця 3. Антимікробна дія наночастинок, синтезованих за допомогою дріжджів

Дріжджі	Тест-культура	Зона затримки росту (мм)	Мінімальна інгібуюча концентрація (мкг/мл)	Джерело
1	2	3	4	5
<i>Наночастки срібла</i>				
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	<i>Escherichia coli</i> BL-II-11 (MDR)	11	2	Salvadori, Monezi, Mehnert & Correa, 2019
	<i>Cryptococcus neoformans</i>	16	0,2	
<i>Rhodotorula</i> sp. ATL72	<i>Bacillus</i> sp.	н.н.	0,25	Soliman, Elsayed & Dyaa, 2018
	<i>Escherichia coli</i>		1	
	<i>Candida</i> sp.		1	

1	2	3	4	5
<i>Rhodotorula glutinis</i>	<i>Candida parapsilosis</i> ATCC22019	н.н.	0,35	Cunha та ін., 2018
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	<i>Candida parapsilosis</i> ATCC22019	н.н.	0,5	
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Escherichia coli</i>	2,1	40	Sowbarnika, Anhuradha & Preetha 2018
	<i>Shigella flexneri</i>	1,5	220	
	<i>Cryptococcus gastricus</i>	1,8	120	
	<i>Trichophyton rubrum</i>	0,8	180	
	<i>Fusarium oxysporum</i>	1	140	
<i>Candida glabrata</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	н.н.	31	Jalal та ін., 2018
	<i>Escherichia coli</i>		31	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		62	
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>		62	
	<i>Salmonella typhimurium</i>		125	
	<i>Shigella flexneri</i>		62	
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Escherichia coli</i>	н.н.	20	Shu та ін., 2020
<i>Yarrowia lipolytica</i> NCIM 3590	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC33591	8	н.н.	Bolbanabad, Ashengroph & Darvishi, 2020
	<i>Escherichia coli</i> ATCC25922	10		
	<i>Enterococcus faecalis</i> ATCC29212	7		
	<i>Proteus vulgaris</i> ATCC49132	6		
	<i>Streptococcus pyogenes</i> ATCC19615	5		
<i>Metschnikowia</i> sp. HX-YS	<i>Escherichia coli</i> ATCC8099	14	н.н.	Liu та ін., 2021
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	21		
	<i>Bacillus subtilis</i> ATCC6051	16		
	<i>Monilia albicans</i> ATCC10231	17		
	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC6538	15		
Наночастки золота				
<i>Phaffia rhodozyma</i> ATCC 24203	<i>Cryptococcus neoformans</i>	2	н.н.	Ronavari, Igaz & Gopisetty, 2018
<i>Candida guilliermondii</i> KCCM 11960	<i>Staphylococcus aureus</i>	14	н.н.	Mishra, Tripathy & Yun, 2011
	<i>Escherichia coli</i>	13		
	<i>Salmonella typhimurium</i>	13		
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	13		
	<i>Bacillus cereus</i>	11		

Примітка: н.н. — у використаному джерелі інформація не наведена.

Висунуто гіпотезу, що механізми антибактеріальної дії наночастинок срібла здебільшого пов'язані з порушенням цілісності клітинної мембрани і зменшенням внутрішньоклітинного АТФ. Синтез активних форм кисню та поглинання клітиною наночастинок, унаслідок різниці мембранного потенціалу, призводить до пригнічення активності дихальних ферментів і компонентів транспорту електронів, а також до порушення функцій ДНК (Rahimi, Alizadeh & Khodavandi, 2016).

Є повідомлення, що антимікробна дія наночастинок срібла базується на порушенні процесу поділу клітин, пошкодженні клітинної мембрани та індукції апоптозу шляхом збільшення кількості гідроксильних радикалів у клітині (Cunha та ін., 2018). Також було виявлено, що бактеріальні збудники захворювань показали більшу чутливість щодо наночастинок, ніж грибові. Передбачається, що таке явище зумовлено різницею в клітинній структурі й організації бактеріальних і грибних клітин. Будова бактеріальних клітин є простішою, тому вони не в змозі ефективно протидіяти токсичній дії AgNPs. Клітини грибів і дріжджів витримують вищі концентрації наночастинок срібла через складнішу організацію, а також завдяки ефективній системі детоксикації (Jalal та ін., 2018). Наночастки виявляють більшу антимікробну активність щодо грамнегативних бактерій, ніж щодо грампозитивних бактерій. Причиною цього явища може бути специфіка структури клітинної стінки: у грамнегативних бактерій у складі клітинної стінки є тонкий шар пептидоглікану, тоді як у клітинній стінці грампозитивних бактерій — товстий шар.

Shu зі співробітниками продемонстрували безпечність біогенних наночастинок срібла щодо лінії клітин африканської зеленої мавпи Cos-7 та антибактеріальну активність щодо антибіотикорезистентного штаму *Escherichia coli*. Так, інгібуюча концентрація AgNPs щодо патогенних бактерій є у 10 разів меншою, порівнюючи із показником цитотоксичності щодо нормальних клітин тварин (Shu та ін., 2020). Показано, що клітини слинної залози людини A-253 та гліоми людини KNS-42 є стійкішими до AgNPs, ніж патогенні мікроорганізми. Так, мінімальна інгібуюча концентрація (MIK) наночастинок срібла для *Escherichia coli* BL-II-11 (MDR) становила 2 мкг/мл, а для *Cryptococcus neoformans* — 0,2 мкг/мл, у той час, як IC₅₀ для лінії клітин A-253 становить 150 мкг/мл, а для лінії клітин KNS-42 — 70 мкг/мл (Salvadori, Monezi, Mehnert & Correa, 2019).

Інша група вчених порівняла токсичність хімічно синтезованих наночастинок та отриманих за допомогою *Rhodotorula glutinis* BNM 0525 та *Cryptococcus laurentii* BNM 0524 на насінні салату. Дослідження показали, що AgNPs, отримані хімічним способом, виявились більш токсичними, ніж наночастки, що були отримані з використанням мікроорганізмів (Fernandez та ін., 2016). Також у дослідженні, проведеному з кератиноцитами і фібробластами, було показано, що срібні наночастки виявили меншу цитотоксичність, ніж іони Ag⁺ (Galandakova та ін., 2016). Так само антибактеріальна дія AgNPs перевищувала дію AgNO₃ вдвічі (Kumar, Karthik, Kumar & Roa, 2011).

Ronavari зі співробітниками показали, що збільшення концентрації наночастинок золота не впливає на життєздатність лінії клітин кератиноцитів людини HaCaT, що свідчить про біосумісність AuNPs з клітинами людини (Ronavari, Igaz & Gopisetty, 2018). Також було показано, що біогенні AuNPs проявляють антимікробну активність, на відміну від хімічно синтезованих (Mishra, Tripathy & Yun, 2011).

Встановлено, що антибіотикорезистентні штами патогенних бактерій *Staphylococcus aureus* та *Klebsiella pneumonia*, які є стійкими до таких препаратів, як ампіцилін, цефодоксим, хлорамфенікол, ципрофлоксацин, котримоксазол, гентаміцин, імipенем, налідиксинова кислота та рифампіцин, є сприятливими до дії біогенних наночастинок срібла. Мінімальна інгібуюча концентрація AgNPs стано-

вить 20 мкг/мл і 40 мкг/мл відповідно (Kumar, Karthik, Kumar & Roa, 2011). Резистентний до флуконазолу штам *Candida albicans* є чутливим до дії AgNPs у концентрації 2—4 мкг/мл (Niknejad, Nabili, Daie Ghazvini & Moazeni, 2015).

Антиракова активність. Наночастинки золота та срібла важливі для діагностики та лікування деяких типів раку людини завдяки своїм унікальним властивостям (табл. 4). Встановлено, що AgNPs знижують життєздатність двох клітинних ліній раку молочної залози (MCF-7 та T47D). Зменшення життєздатності пухлинних клітин спостерігалось при концентрації наночастинок срібла 2,5 мкг/мл і вище. При цьому життєздатність здорових клітин молочної залози за такої концентрації AgNPs не змінилась. Дослідження механізму апоптозу встановило, що загибель клітин пов'язують з активацією клітинного ферменту каспази. Велика частина біосинтезованих наночастинок поглинається клітинами шляхом ендоцитозу. Всередині ендолізосом відбувається вивільнення іонів Ag^+ , які, у свою чергу, спричиняють збільшення кількості активних форм кисню, що й призводить до апоптозу (Ortega та ін., 2015).

Сигнальний шлях фосфоінозитид-3-кінази (PI3K/AKT) є основним при різних типах пухлин. Він контролює такі ознаки раку, як виживання пухлинних клітин, метастазування та метаболізм. Шлях PI3K/AKT також відіграє важливу роль в оточенні пухлини, беручи участь у процесах утворення нових кровоносних судин і мобілізації запальних факторів. Біогенні AuNPs здатні інгібувати сигнальний шлях PI3K/AKT, зупиняючи таким чином ріст пухлинних клітин (Yao, Wang, Hu & Yang, 2021).

Також показано, що біогенні наночастки золота кон'югують із специфічними для клітин раку печінки антитілами, в результаті чого вони специфічно зв'язуються з поверхневими антигенами ракових клітин. У подальшому цю властивість AuNPs можна буде використати для розробки методик швидкого та специфічного виявлення різних видів пухлин (Chauhan та ін., 2011).

Таблиця 4. Протипухлинна дія біогенних наночастинок

Дріжджі, які були використані для біосинтезу	Модель пухлини	Показник протипухлинної активності (IC ₅₀ , мкг/мл)	Джерело
Наночастки золота			
Pichia pastoris	Клітини карциноми молочної залози T47D	433	Elahian, Reisi, Shahidi & Mirzaei, 2017
	Клітини карциноми шлунку EPG85-257	66	
Наночастки срібла			
Cryptococcus laurentii BNM 0525	Клітини карциноми молочної залози MCF-7	5	Ortega та ін., 2015
	Клітини карциноми молочної залози T47D		
Rhodotorula mucilaginosa	Клітини хоріокарциноми плаценти людини BeWo	150	Salvadori, Monezi, Mehnert & Correa, 2019
Metschnikowia sp. HX-YS	Клітини карциноми легень A549	0,25	Liu та ін., 2021
	Клітини карциноми легень H1975		

Інші властивості. Наночастки золота та срібла також володіють каталітичною дією. Цю властивість наночастинок можна використати для пришвидшення деградації в навколишньому середовищі таких токсичних речовин, як нітрофеноли та різноманітні барвники.

Наночастинки золота можуть бути застосовані як каталізатор у процесі конверсії 4-нітрофенолу у 4-амінофенол. Встановлено залежність між розмірами наночастинок та їх каталітичною активністю — зі зменшенням розміру наночастинок збільшується їх каталітична активність. При зменшенні діаметра AuNPs на 4% ефективність каталізу нітрофенолу збільшується у 4 рази (Qu та ін., 2018). Також є гіпотеза щодо покращення каталітичних властивостей наночастинок золота залежно від стабілізуючих агентів, які присутні на їх поверхні. Покращити каталітичні властивості AuNPs можуть такі речовини-стабілізатори, як полімери, дендримери, вуглецеві та кремнеземні нанотрубки (Zhang та ін., 2016).

Фотокаталітичну активність біосинтезованих AgNPs оцінили шляхом деградації метиленового синього під дією сонячного опромінення, адже встановлено, що сонячне світло є більш ефективним, ніж інші методи опромінення для деградації барвників. Під час перебування на сонці, коли фотони потрапляють на наночастки, що присутні в колоїдній суміші, електрони на поверхні часток збуджуються. Розчинені молекули кисню в реакційному середовищі приймають збуджені електрони з поверхні наночастинок і перетворюються в аніонні радикали кисню. Ці радикали руйнують органічний барвник на більш прості органічні молекули. Тому біосинтезовані наночастки срібла можуть діяти як стабільний та ефективний фотокаталізатор для деградації метиленового синього під час опромінення видимим світлом (Roy, Sarkar & Ghosh, 2014).

Висновки

Отже, на сьогодні є ряд публікацій, в яких показано можливість отримання наночастинок срібла та золота з використанням безклітинного водного екстракту, культуральної рідини або супернатанту, а також біомаси дріжджів. При цьому в процесі біосинтезу наночастинок задіяні різноманітні біологічні речовини, що локалізуються в клітині або виділяються в культуральну рідину. Біогенні наночастки срібла і золота володіють антимікробною та протипухлинною дією. Вони показали свою дієвість щодо збудників таких захворювань, як пневмонія, шигельоз, дерматити, кандидоз тощо. При цьому наночастки срібла та золота мають низьку цитотоксичність для нормальних клітин людини і тварин. Що стосується механізму їх біологічної дії, то припускається, що вони пригнічують реплікацію ДНК, активують синтез каспаз, збільшують кількість активних форм кисню, блокують різницю електричного потенціалу, який утворюється в цитоплазматичних мембранах, а також пригнічують дихальний ланцюг у мікробних клітинах.

Література

Харченко, Є. В., Скроцька, О. І. (2020). Використання мікроорганізмів для біогенного синтезу наночастинок. *Наукові праці НУХТ*, 26(2): 57—70. doi: 10.24263/2225-2924-2020-26-2-6.

Agnihotri, M., Joshi, S., Kumar, A. R., Zinjarde, S., Kulkarni, S. (2009). Biosynthesis of gold nanoparticles by the tropical marine yeast *Yarrowia lipolytica* NCIM 3589. *Materials Letters*, 63: 1231—1234. doi: 10.1016/j.matlet.2009.02.042.

Alamri, S. A., Hashem, M. A., Nafady, N. A., Sayed, M. A., Alshehri, A. A., El-Alshaboury, G. A. (2018). Controllable biogenic synthesis of intracellular silver/silver chloride nanoparticles by *Meyerozyma guilliermondii* KX008616. *J. Microbiol. Biotechnol.*, 28(6): 917—930. doi: 10.4014/jmb.1802.02010.

Badhusha, M. S. M., Mohideen, M. (2016). Biosynthesis of silver nanoparticles using *saccharomyces cerevisiae* with different pH and study of antimicrobial activity against bacterial pathogens. *Chemical Science Transactions*, 5(4): 906—911. doi: 10.7598/cst2016.1275.

Bahrulolum, H., Nooraee, S., Javanshir, N., Tarahimofrad, H., Mirbagheri, V. S., Easton, A. J., Ahmadian, G. (2021). Green synthesis of metal nanoparticles using microorganisms and their application in the agrifood sector. *J. Nanobiotechnol.*, 19, 86. doi: 10.1186/s12951-021-00834-3.

Bolbanabad, E. M., Ashengroph, M., Darvishi, F. (2020). Development and evaluation of different strategies for the clean synthesis of silver nanoparticles using *Yarrowia lipolytica* and their antibacterial activity. *Process Biochemistry*, 94: 319—328. doi: 10.1016/j.procbio.2020.03.024.

Castillo-Henriquez, L., Alfaro-Aguilar, K., Ugalde-Alvarez, J., Vega-Fernandez, L., Oca-Vasquez, G. M., Vega-Baudrit, J. R. (2020). Green synthesis of gold and silver nanoparticles from plant extracts and their possible applications as antimicrobial agents in the agricultural area. *Nanomaterials*, 10, 1763. doi: 10.3390/nano10091763.

Chang, Y. C., Chen, D. H. (2009). Catalytic reduction of 4-nitrophenol by magnetically recoverable Au nanocatalyst. *Journal of hazardous materials*, 165: 664—669. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.10.034.

Chauhan, A., Zubair, S., Tufail, S., Sherwani, A., Sajid, M., Raman, S., Azam, A., Owais, M. (2011). Fungus-mediated biological synthesis of gold nanoparticles: potential in detection of liver cancer. *International Journal of Nanomedicine*, 6: 2305—2319. doi: 10.2147/IJN.S23195.

Cunha, F. A., Cunha, M. da CSO., da Frota, S. M., Mallmann, E. J., Freire, T. M., Costa, L. S., Paula, A. J., Menezes, E. A., Fachine, P. B. (2018). Biogenic synthesis of multifunctional silver nanoparticles from *Rhodotorula glutinis* and *Rhodotorula mucilaginosa*: antifungal, catalytic and cytotoxicity activities. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34: 127. doi: 10.1007/s11274-018-2514-8.

Elahian, F., Reisi, S., Shahidi, A., Mirzaei, S. A. (2017). High-throughput bioaccumulation, biotransformation, and production of silver and selenium nanoparticles using genetically engineered *Pichia pastoris*. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 13(3): 853—861. doi: 10.1016/j.nano.2016.10.009.

Eugenio, M., Müller, N., Frases, S., Almeida-Paes, R., Lima, L. M. T. R., Lemgruber, L., Farina, M., de Souza, W., Sant'Anna, C. (2016). Yeast-derived biosynthesis of silver/silver chloride nanoparticles and their antiproliferative activity against bacteria. *RSC Advances*, 6: 9893—9904. doi: 10.1039/C5RA22727E.

Fernandez, J. G., Fernandez-Baldo, M. A., Berni, E., Cami, G., Duran, N., Raba, J., Sanz, M. I. (2016). Production of silver nanoparticles using yeasts and evaluation of their antifungal activity against phytopathogenic fungi. *Process Biochemistry*, 51(9): 1306—1313. doi: 10.1016/j.procbio.2016.05.021.

Galandakova, A., Frankova, J., Ambrozova, N., Habartova, K., Pivodova, V., Zalesak, B., Safarova, K., Smekalova, M., Ulrichova, J. (2016). Effects of silver nanoparticles on human dermal fibroblasts and epidermal keratinocytes. *Hum. Exp. Toxicol.*, 35(9): 946—957. doi: 10.1177/0960327115611969.

Grasso, G., Zane, D., Dragone, R. (2020). Microbial nanotechnology: challenges and prospects for green biocatalytic synthesis of nanoscale materials for sensoristic and biomedical applications. *Nanomaterials (Basel)*, 10, 11. doi: 10.3390/nano10010011.

Jalal, M., Ansari, M. A., Alzohairy, M. A., Ali, S. G., Khan, H. M., Almatroudi, A., Raees, K. (2018). Biosynthesis of silver nanoparticles from oropharyngeal candida glabrata isolates and their antimicrobial activity against clinical strains of bacteria and fungi. *Nanomaterials*, 8(8), 586. doi: 10.3390/nano8080586.

- Korbekandi, H., Mohseni, S., Mardani Jouneghani, R., Pourhossein, M., Iravani, S. (2016). Bio-synthesis of silver nanoparticles using *Saccharomyces cerevisiae*. *Artif. Cells, Nanomed., Biotechnol.*, 44, 235—239. doi: 10.3109/21691401.2014.937870.
- Kowshik, M., Ashtaputre, S., Kharrazi, S., Vogel, W., Urban, J., Kulkarni, S. K., Paknikar, K. M. (2003). Extracellular synthesis of silver nanoparticles by a silver-tolerant yeast strain MKY3. *Nanotechnology*, 14(1): 95—100.
- Kumar, D., Karthik, L., Kumar, G., Roa, K. B. (2011). Biosynthesis of silver anoparticles from marine yeast and their antimicrobial activity against multidrug resistant pathogens. *Pharmacologyonline*, 3: 1100—1111.
- Liu, X., Chen, J.-L., Yang, W.-Y., Qian, Y.-C., Pan, J.-Y., Zhu, C.-N., Liu, L., Ou, W.-B., Zhao, H.-X., Zhang, D.-P. (2021). Biosynthesis of silver nanoparticles with antimicrobial and anticancer properties using two novel yeasts. *Sci Rep*, 11: 15795. doi: 10.1038/s41598-021-95262-6.
- Mishra, A., Tripathy, S. K., Yun, S. I. (2011). Bio-synthesis of gold and silver nanoparticles from *candida guilliermondii* and their antimicrobial effect against pathogenic bacteria. *Journal of nano-science and Nanotechnology*, 11(1): 243—248. doi: 10.1166/jnn.2011.3265.
- Mourato, A., Gadanho, M., Lino, A. R. (2011). Biosynthesis of crystalline silver and gold nanoparticles by extremophilic yeasts. *Bioinorganic chemistry and applications*, 2011: 546074. doi: 10.1155/2011/546074.
- Nair, V., Sambre, D., Joshi, S., Bankar, A. (2013). Yeast-derived melanin mediated synthesis of gold nanoparticles. *Journal of Bionanoscience*, 7(2): 159—168. doi: 10.1166/jbns.2013.1108.
- Niknejad, F., Nabili, M., Daie Ghazvini, R., Moazeni, M. (2015). Green synthesis of silver nanoparticles: advantages of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* model. *Curr Med Mycol*, 1(3): 17—24. doi: 10.18869/acadpub.cmm.1.3.17.
- Ortega, F. G., Fernandez-Baldo, M. A., Fernandez, J. G., Serrano, M. J., Sanz, M. I., Diaz-Mochon, J. J., Lorente, J. A., Raba, J. (2015). Study of antitumor activity in breast cell lines using silver nanoparticles produced by yeast. *Int J Nanomedicine*, 10: 2021—2031. doi: 10.2147/IJN.S75835.
- Pimprikar, P. S., Joshi, S. S., Kumar, A. R., Zinjarde, S. S., Kulkarni, S. K. (2009). Influence of biomass and gold salt concentration on nanoparticle synthesis by the tropical marine yeast *Yarrowia lipolytica* NCIM 3589. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 74(1): 309—316. doi: 10.1016/j.colsurfb.2009.07.040.
- Qu, Y., You, S., Zhang, X., Pei, X., Shen, W., Li, Z., Li, S. (2018). Biosynthesis of gold nanoparticles using cell-free extracts of *Magnusiomyces ingens* LH-F1 for nitrophenols reduction. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 41: 359—367. doi: 10.1007/s00449-017-1869-9.
- Rahimi, G., Alizadeh, F., Khodavandi, A. (2016). Mycosynthesis of silver nanoparticles from *Candida albicans* and its antibacterial activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Tropical Journal of Pharmaceutical*, 15(2): 371—375. doi: 10.4314/tjpr.v15i2.21.
- Roy, K., Sarkar, C. K., Ghosh, C. K. (2015). Photocatalytic activity of biogenic silver nanoparticles synthesized using yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) extract. *Applied Nanoscience*, 5: 953—959. doi: 10.1007/s13204-014-0392-4.
- Ronavari, A., Igaz, N., Gopisetty, M. K. (2018). Biosynthesized silver and gold nanoparticles are potent antimycotics against opportunistic pathogenic yeasts and dermatophytes. *International journal of Nanomedicine*, 13: 695—703. doi: 10.2147/IJN.S152010.
- Salvadori, M. R., Monezi, T. A., Mehnert, D. U., Correa, B. (2019). Antimicrobial activity of Ag/Ag₂O nanoparticles synthesized by dead biomass of yeast and their biocompatibility with mammalian cell lines. *Int. J. Res. Stud*, 1(5): 7—15. doi: 10.20431/2454-9428.0501002.
- Shabbir, M., Mohammad, F. (2018). Multifunctional AgNPs@Wool: colored, UV-protective and antioxidant functional textiles. *Appl Nanosci*, 8: 545—555. doi: 10.1007/s13204-018-0668-1.
- Shu, M., He, F., Li, Z., Zhu, X., Ma, Y., Zhou, Z., Yang, Z., Gao, F., Zeng, M. (2020). Bio-synthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles using yeast extract as reducing and capping agents. *Nanoscale Research Letters*, 15, 14. doi: 10.1186/s11671-019-3244-z.

Skrabalak, S. E., Chen, J., Sun, Y., Lu, X., Au, L. (2008) Gold nanocages: synthesis, properties, and applications. *Acc. Chem. Res*, 41(12): 1587—1595. doi: 10.1021/ar800018v.

Soliman, H., Elsayed, A., Dyaa, A. (2018). Antimicrobial activity of silver nanoparticles biosynthesised by *Rhodotorula* sp. strain ATL72. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5: 228—233. doi: 10.1016/j.ejbas.2018.05.005.

Sowbarnika, R., Anhuradha, S., Preetha, B. (2018). Enhanced antimicrobial effect of yeast mediated silver nanoparticles synthesized from baker's yeast. *Int. J. Nanosci. Nanotechnol*, 1(14): 33—42.

Yang, Z., Li, Z., Lu, X., He, F., Zhu, X., Ma, Y., He, R., Gao, F. (2017). Controllable biosynthesis and properties of gold nanoplates using yeast extract. *Nano-micro letters*, 9(5). doi: 10.1007/s40820-016-0102-8.

Yao, Y., Wang, D., Hu, J., Yang, X. (2021). Tumor-targeting inorganic nanomaterials synthesized by living cells. *Nanoscale Adv*, 3: 2975—2994. doi: 10.1039/D1NA00155H.

Zhang, X., Qu, Y., Shen, W., Wang, J., Li, H., Zhang, Z. (2016). Biogenic synthesis of gold nanoparticles by yeast *Magnusiomyces ingens* LH-F1 for catalytic reduction of nitrophenols. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 497: 280—285. doi: 10.1016/j.colsurfa.2016.02.033.

FEATURES OF USING INTERNET ADVERTISING AND PR ESTABLISHMENT OF LLC “DOMINO’S PIZZA UKRAINE”

A. Hrushchenko, S. Stepanchuk

National University of Food Technologies

Key words:

*Internet advertising
Internet PR
Consumers
Target audience
Advertising and PR-
campaigns
Efficiency of the Internet
advertising and PR*

Article history:

Received 05.01.2022
Received in revised form
14.01.2022
Accepted 28.01.2022

Corresponding author:

A. Hrushchenko
E-mail:
gru.alvina@ukr.net

ABSTRACT

The article describes the essence and content of advertising and PR-activities of business entities on the Internet as the main medium of communication, which in recent years changed the priorities of many enterprises around the world. From now on, the use of traditional media to promote companies' goods or services is less effective. Therefore, more and more modern enterprises and organizations conduct their advertising and PR-campaigns on the Internet, using various advertising integrations and PR-tools.

The problem of defining the concepts, classifications and features of the use of online advertising and online PR appeared in scientific papers relatively recently. Although, the global network was established in 1969, its widespread use for business began in recent years, that in turn proves the relevance of the chosen topic and what number of issues in this area are only partially addressed and need further study.

Nowadays, using the Internet not only simplifies and facilitates the work of businesses and customers, but also ensures the safety of everyone. This became apparent during the pandemic of the global problem of COVID-19, which led most businesses to focus on the Internet with the active use of advertising and PR support.

This article describes modern theoretical approaches and practical tools which are basic to developing advertising and PR-campaigns on various Internet platforms and identifies the effectiveness of their use on the example of the LLC “Domino’s Pizza Ukraine”.

During the research, the target audience was determined and a portrait of the consumer of the company’s products was formed. All Internet platforms of the enterprise were analyzed, among which the most successful are: Instagram, Facebook and Telegram. The main methods for the development of advertising and PR-materials were studied, recommendations for future prospects of advertising and PR on the Internet were substantiated.

Prospects for further research on this topic are the introduction of innovations in Internet advertising and PR, as well as research on the cost-effectiveness of advertising and PR-activities on the Internet.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРНЕТ-РЕКЛАМИ ТА PR ЗАКЛАДУ ХАРЧУВАННЯ ТОВ «ДОМІНОС ПІЦЦА ЮКРЕЙН»

А. В. Грущенко, С. О. Степанчук

Національний університет харчових технологій

У статті охарактеризовано сутність і зміст рекламної та PR-діяльності суб'єктів господарювання в мережі Інтернет як основному середовищі комунікації, що за останні роки функціонування бізнесу змінило пріоритети в роботі багатьох підприємств світу. Використання традиційних медіа для просування товарів чи послуг компаній уже не є настільки ефективним як раніше, тому все більше сучасних підприємств та організацій свої рекламні і PR-кампанії проводять в Інтернеті, використовуючи при цьому різні рекламні інтеграції та PR-інструменти.

Проблематика визначення понять, класифікацій і особливостей застосування інтернет-реклами та інтернет-PR в наукових працях висвітлюється відносно недавно. Хоча глобальна мережа була створена ще в 1969 р., в останні роки розпочалося її широке використання для бізнесу, що, у свою чергу, доводить актуальність обраної теми і те, як багато питань у цій сфері потребують подальшого дослідження.

У наш час використання можливостей Інтернету не тільки спрощує та полегшує життя бізнесу і клієнтам, а й гарантує безпеку кожній людині. Це стало очевидним під час пандемії COVID-19, через яку більшість підприємств спрямували свою діяльність в інтернет-середовище з активним використанням рекламної та PR-підтримки.

У статті описано сучасні теоретичні підходи та практичні інструменти, які є ключовими для розробки рекламних і PR-кампаній на різних інтернет-платформах і визначено ефективність їх застосування на прикладі закладу харчування ТОВ «Домінос Піцца Юкрейн», а також представлено пропозиції для покращення провадження рекламної та PR-діяльності підприємства в Інтернеті.

Під час проведення дослідження визначено цільову аудиторію та сформовано портрет споживача продукції компанії. Встановлено найбільш успішні інтернет-платформи, які використовує підприємство: Instagram, Facebook і Telegram. У цих соціальних мережах легко і швидко проводити комунікацію з клієнтами, отримувати від них фідбек, розміщувати рекламні та PR-матеріали з меншими витратами порівняно з традиційними медіа. Досліджено основні методи розробки рекламних і PR-матеріалів, обґрунтовано рекомендації для майбутніх перспектив застосування реклами та PR в Інтернеті.

Перспективами подальших наукових досліджень є впровадження інновацій в інтернет-рекламі та PR, а також дослідження економічної ефективності рекламної та PR-діяльності в Інтернеті із застосуванням сучасних економіко-математичних моделей і підходів.

Ключові слова: інтернет-реклама, інтернет-PR, споживачі, цільова аудиторія, рекламні та PR-кампанії, ефективність інтернет-реклами та PR.

Постановка проблеми. Стрімке зростання популярності мережі Інтернет змінює рекламні та PR-кампанії будь-якого бренду чи організації. Традиційні засоби просування вже відходять на задній план і в майбутньому можуть зовсім зникнути. Інтернет стане основним середовищем комунікації та просування. Тому зараз компаніям потрібно чітко розуміти, яку нішу Інтернету найефективніше використовувати, які інструменти при цьому застосовувати та на яку саме цільову аудиторію спрямовувати заходи із просування.

Розміщення рекламних і PR-матеріалів за допомогою традиційних медіа (на телебаченні, радіо, друкованих засобах масової інформації, зовнішній рекламі тощо) останнім часом стало неефективним, адже основна цільова аудиторія зосереджена саме в мережі Інтернет. Наразі споживачу достатньо мати сучасний телефон і доступ до глобальної мережі, щоб купувати товар чи обирати послуги, які відповідають його запитам.

Під час пандемії, спричиненою хворобою COVID-19, Інтернет дав змогу спростити роботу як бізнесу, так і його клієнтам та забезпечив їм безпеку. Практично два роки ми здебільшого працюємо і навчаємося дистанційно, робимо покупки онлайн, замовляємо їжу додому. Більшість закладів харчування почали активно використовувати кур'єрські доставки, дотримуючись усіх карантинних норм і правил безпеки. Тому підприємства спрямували свої рекламні та PR-заходи в Інтернет, що стало поштовхом для їхнього розвитку та детальних досліджень у цій сфері, оскільки від успішності інтернет-реклами та PR-кампаній залежатимуть прибутки підприємств, показники споживчої лояльності, формування іміджу бренду та загальна репутація бізнес-організацій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання реклами та PR в Інтернеті вивчаються відносно недавно. У наукових працях розглядається роль інтернет-реклами в системі маркетингових комунікацій, її властивості, види та сучасне функціонування (Тарасова & Кадацкая, 2020), аналізується оцінка ефективності інтернет-реклами (Савельєва & Никулин, 2014) та порушуються питання щодо перспектив розвитку рекламного ринку України та світу в майбутньому (Сендецька, 2016). Вітчизняними вченими розглядалися окремі питання реалізації PR-технологій в Інтернеті (Курбан, 2016; Радзіговська, 2017). Однак отримані результати є недостатньо повними і залишають простір для подальшого дослідження ефективності застосування сучасними підприємствами рекламних і PR-технологій в процесі розробки їх рекламних та PR-кампаній в Інтернеті.

Мета дослідження: дослідити сутність і класифікацію інтернет-реклами та PR, визначити особливості застосування інтернет-реклами та PR закладами харчування відповідно до інтересів цільової аудиторії, обрати найефективніші засоби реклами та PR в Інтернеті і запропонувати напрями розвитку використання інтернет-реклами і PR для закладів харчування у майбутньому.

Матеріали і методи. В основу дослідження покладено загальнонаукові методи: теоретичного узагальнення, системного аналізу, аналітики, порівняння та спостереження, застосовані при аналізі цільової аудиторії та створенні конкретного образу споживача компанії «Домінос», рекламної та PR-діяльності закладу харчування в традиційних медіа та Інтернеті. Для збору необхідних даних щодо

діяльності компанії в Інтернеті було опрацьовано офіційний український сайт підприємства, сторінки в соціальних мережах (Instagram, Facebook, Telegram, YouTube та TikTok), спеціальний додаток «Domino's Pizza Ukraine» та інші інтернет-платформи з контентом про «Домінос».

Викладення основних результатів дослідження. У сучасному світі Інтернет — це глобальна інформаційна мережа, яка є найкращим середовищем для рекламних і PR-кампаній будь-якого підприємства. При цьому рекламні та PR-матеріали в Інтернеті значно відрізняються від таких же матеріалів у традиційних засобах масової інформації (ЗМІ): телебачення, радіо, газети, журнали тощо. Їхня основна перевага — це охоплення широкої аудиторії споживачів з використанням мінімальних грошових вкладень.

Ринок Інтернету щорічно зростає, як і кількість рекламних та PR пропозицій у цьому сегменті. Проте досить часто постає питання, який вид інтернет-реклами чи PR буде більш ефективним і яку інтернет-платформу задіяти.

За місцем розташуванням і характером реклами в Інтернеті її можна поділити на п'ять основних видів: SEO (пошукова оптимізація), контекстна, медійна (банерна), тизерна та реклама в соціальних мережах (Радзіговська, 2017).

Абревіатура SEO походить з англійської мови і розшифровується як search engine optimization — пошукова оптимізація, під якою розуміють комплекс заходів, що розробляється для підвищення рейтингу сайту у списку результатів пошуку за ключовими словами. Завдяки зростанню трафіку відвідувачів сайту відбувається його масштабне просування. Основною характеристикою SEO є довгострокова перспектива появи сайту підприємства на перших позиціях у популярних пошукових системах (Ілляшенко & Савченко, 2012).

Контекстна реклама — це рекламні оголошення в Інтернеті, які підлаштовуються під інтереси та вподобання споживачів з огляду на їхні запити. При здійсненні пошуку на певний товар чи послугу в Інтернеті через запит, введений у пошуковій системі Google, існує велика ймовірність того, що при введенні нового запиту на будь-який інший продукт відобразяться також оголошення попередньої пропозиції (Николаева, 2017). Це дає змогу зробити припущення, що активність будь-якого користувача Інтернету ретельно аналізується.

Оголошення контекстної реклами можуть демонструватися як у рядках пошукової системи, коли користувачі вводять пошуковий запит, так і на різноманітних сайтах, які входять у партнерську мережу певного провайдера. Найчастіше цей вид інтернет-реклами використовують інтернет-магазини, які легко можуть визначити свою цільову аудиторію та налаштувати свої рекламні пропозиції під неї за допомогою спеціальних програм, наприклад, Google Analytics, безкоштовного сервісу, який допомагає проаналізувати детальну статистику відвідувачів веб-сайтів.

Медійна, або банерна реклама — рекламні зображення із супровідним текстом, розміщені на сайтах чи мобільних застосунках. Вони можуть спливати або бути розташованими в різний спосіб у будь-яких частинах сайту чи інтернет-платформах. Цей вид інтернет-реклами добре підходить для вирішення різних

маркетингових питань: підвищення пізнаваності бренду підприємства, просування товарів і послуг, збільшення клієнтів тощо (Николаева, 2017). Мінусом є настирливість і дратівливість з точки зору користувача інтернет-простору. Останнім часом багатьом користувачам набридають банерні оголошення і вони встановлюють спеціальні програми, які блокують таку рекламу. Тож ефективність сучасної медійної реклами наразі значно менша.

Тизерна реклама — досить незрозумілий для багатьох підприємств і користувачів молодого покоління вид реклами. В перекладі з англійської мови *to tease* означає дразнити, подразнювати. Основною ідеєю такої реклами є створення і показ оголошень з певними тригерами (подразнювачами), які привертають увагу споживачів до конкретного продукту чи послуги (Яненко, 2018). Тизери активно застосовуються для просування товарів і послуг з емоційним попитом, наприклад, масові товари, «хайпи», «мейнстрими» тощо.

Ще один дуже популярний засіб просування в Інтернеті — рекламні оголошення в соціальних мережах, тобто таргетована реклама, що задається спеціально визначеними, цільовими параметрами. Саме тут надається повний інструмент перегляду аналітики та статистики щодо користувачів, який легко опрацьовується (Полякова & Бородин, 2015).

Крім цього, до інтернет-реклами також відносяться: імейл-розсилка, геоконтекстна реклама, реклама на RSS-каналах, різні інтернет-активності (лотереї, акції, розіграші), відеореклами на відеохостингах і мобільних застосунках (YouTube), співпраця з блогерами тощо (Радзіговська, 2017).

Що ж до PR, то до певного моменту він був одним цілим механізмом, але з розвитком інтернет-просування його розділили на традиційний і цифровий (*digital*), які на практиці суттєво відрізняються один від одного. Традиційний PR відповідає за імідж компанії та впізнаваність її товару й послуг серед потенційних клієнтів. Перед *digital-PR* поставлене інше завдання: розширення присутності бренду в мережі Інтернет. Його завдання полягає в тому, щоб взаємодіяти з відомими людьми, створювати матеріали для інтернет-ЗМІ, привертати увагу спільноти за допомогою інтерактивних заходів, стимулювати до дій (залишити коментарі, оформлювати підписку тощо), тобто робити все для того, щоб досягти якнайбільшого розповсюдження інформації про компанію та її товар чи послуги серед інтернет-аудиторії. Така взаємодія інтернет-реклами та інтернет-PR робить їх досить ефективною (Курбан, 2016).

До основних інструментів інтернет-PR можна віднести: *influence-маркетинг*, колаборації брендів, інтернет-ЗМІ та *event-маркетинг*.

Influence-маркетинг, або робота з блогерами має на меті залучення інфлюенсера певного спрямування за тематикою (подорожі, навчання, кулінарія тощо) чи за визначеною цільовою аудиторією (діти, молодь, люди старшого віку тощо) до діяльності та завдань підприємства, яке співпрацює з ним. Результатом такої взаємодії може бути реклама бренду в «сторіз» у блогерів в Instagram, нативна інтеграція бренду в життя або участь таких блогерів в івентах (заходах) підприємства. Наразі цей цифровий PR-засіб є дуже популярним, ефективним і найбільш використовуваним (Карпыкбаева, 2019).

Наступний інструмент — це колаборація брендів, тобто об'єднання двох чи більше компаній для спільного PR-проекту. Це допомагає одночасно всім учасникам стати більш впізнаваними та залучити ще більше нових споживачів.

Традиційні засоби масової інформації також знайшли своє місце в Інтернеті. Відтепер вони стали ще більш доступнішими, майже безкоштовними, і, головне, найбільш уживаними. Велика кількість компаній, які працюють на ринку, вже давно відмовилася від різних публікацій у звичайних ЗМІ і повністю перейшла в онлайн-режим, адже онлайн-охоплення значно переважає традиційний формат публікацій. Проте існують компанії, які продовжують використовувати обидва варіанти публікацій рекламних і PR-матеріалів, не беручи до уваги переваги їх розміщення в онлайн-форматі.

Event-маркетинг є одним із важливих PR-інструментів в Інтернеті, що передбачає організацію та проведення різних заходів підприємства в Інтернеті. У сучасному світі більшість презентацій нових продуктів чи послуг підприємств транслиуються онлайн на їхніх власних інтернет-платформах чи в ефірах спонсорів або запрошених гостей (Лимарова & Веретено, 2016). Цей засіб набув популярності під час тотального карантину, коли кількість традиційних івентів компаній та їхніх можливих учасників скоротилася в рази і потрібно було швидко шукати вихід із ситуації, що склалася. Тож багато брендів розробляли та продовжують розробляти онлайн-трансляції будь-яких заходів аби все ж таки залишатися завжди доступними та «безкоштовними» для своїх споживачів. Разом з тим існують компанії чи організації, які беруть певну суму коштів у клієнтів за участь в онлайн-заходах. Платні інтернет-заходи (тренінги, вебінари, конференції), як правило, відносяться до сфери освітніх чи навчальних послуг із залученням відомих людей.

Тож головною метою як реклами, так і PR в Інтернеті є досягнення максимальної лояльності споживачів до бренду, підвищення іміджу компанії, охоплення й залучення більшої кількості клієнтів. Крім цього, це значно спрощує шлях прямої комунікації між підприємствами та їхніми покупцями, витрачається менше коштів на рекламні та PR-заходи. У такий спосіб найлегше відслідковувати та аналізувати аналітичні й статистичні дані своїх споживачів. Тому зараз підприємствам і організаціям дуже важливо обирати саме цей вид рекламування і просування своїх товарів і послуг та, власне, себе як бізнесу. Світ діджиталізується й комунікація між брендом та клієнтом, який також змінює своє мислення та бачення на сучасну реальність, здійснюється по-іншому.

У тотальній діджиталізації є також свої недоліки, наприклад, переглядаючи рекламу одягу, взуття, техніки чи їжі, споживач не може її спробувати на дотик, приміряти, протестувати, скуштувати. Але й тут компанії знайшли вихід: до реклами будь-якого товару додається візуальне оформлення, додатковий опис, характеристика товару, а також онлайн-консультація з продавцем компанії. Тому сучасний бізнес будь-якого спрямування має бути представленим в Інтернеті, починаючи від аксесуарів, косметики, одягу, взуття, продуктів харчування і закінчуючи машино- і ракетобудуванням, як, наприклад, відома компанія найуспішнішого піарника XXI ст. Ілона Маска «XSpace» (займається виробництвом

сонячних акумуляторів і панелей, електромобілів, супутників, ракет). Головним завданням сучасного бізнесу, представленого в Інтернеті, є пошук правильного підходу до свого споживача та підбір ефективних онлайн-інструментів просування, що вміло поєднується у бізнес-проектах Ілона Маска, які завжди випереджають час і про які постійно пишуть, говорять, демонструють у глобальній мережі.

Останнім часом в Інтернеті стали популярними сторінки в соціальних мережах закладів харчування: кафе, ресторани, піцерії тощо. Це пов'язано з тим, що за час карантинних обмежень і локдаунів, спричинених COVID-19, більшість закладів почали працювати на винос або в режимі кур'єрських доставок, що спонукало їх активніше використовувати рекламні та PR-матеріали в Інтернеті. Наскільки це було ефективним і чи збільшило це популярність закладів харчування, спробуємо розібратися на прикладі міжнародної корпорації «Domino's Pizza» і її діяльності в Україні.

Компанія «Domino's Pizza» — це одна з найбільших міжнародних мереж закладів харчування, що спеціалізуються на піці. До неї входить понад 17 600 корпоративних та уповноважених філій, що працюють за ліцензії франчайзингу більш ніж у 85 країнах світу, серед яких є й Україна.

Свою історію компанія «Domino's Pizza» розпочала в 1960 р., коли два брати Том та Джеймс Монагані придбали маленьку піцерію «Dominick's Pizza» в місті Імпіланті (США). В Україні ТОВ «Домінос Піцца Юкрейн» працює з 2010 р. і має в підпорядкуванні 62 піцерії, серед яких 44 зосереджені в м. Києві, інші розташовані у великих містах: Вінниці, Львові, Одесі.

«Домінос» є лідером у своєму сегменті й займає близько 30% ринку піцерій у м. Київ. Головною метою організації є збільшення продажів. Саме ця компанія 8 років тому стала першою в Україні, хто запропонував унікальну пропозицію: «Друга піца — безкоштовно!», що й зараз є основою рекламних оголошень компанії.

Рекламна та PR-діяльність корпорації «Domino's» у багатьох країнах світу базується на різноманітних акціях, попередніх пропозиціях. Наприклад, в Україні діють такі постійні акційні пропозиції, як «Шалений вівторок», «Качай вихідні!», «Середня піца — 119,99 грн, велика — 139,99 грн!», «30% на кожну другу піцу!», «30% на сайди!». Оскільки асортимент продукції «Domino's Pizza», як і склад піц, може відрізнятися, відповідно, змінюється і зміст акційних пропозицій у рекламі. Все це залежить від традицій і смакових вподобань тієї чи іншої країни.

Якщо склад меню може відрізнятися в різних країнах, то одне залишається незмінним — шлях реалізації рекламних і PR-кампаній у наш час. Адже зі стрімким розвитком мережі Інтернет по всьому світу кожна цивілізована держава почала активно використовувати його в повсякденному житті. Відтепер Інтернет — це не просто мережа чи додатковий засіб у розробці рекламних і PR-кампаній, це вже повноцінний робочий інструментарій та справжнє поле дій для рекламників і PR-ників.

Міжнародна компанія «Domino's Pizza» представлена у всіх можливих нішах Інтернету. Наприклад, в Україні «Домінос» має свій офіційний сайт, мобільний

додаток, YouTube-канал, Telegram-канал, сторінки у соціальних мережах Instagram, Facebook, Twitter і TikTok. Саме на цих просторах компанія здебільшого проводить всі свої рекламні та PR-кампанії. Хоча PR-матеріали можна знайти не тільки на офіційних акаунтах «Domino's» в Інтернеті, а й в електронних ЗМІ, які публікують новини про відкриття нових франшиз, про події, в яких компанія брала участь. Загалом, українська мережа піцерій повністю спирається на досвід міжнародної корпорації «Domino's Pizza».

Проте в зарубіжних ЗМІ значно частіше висвітлюється діяльність компанії «Domino's», ніж в українських. Наприклад, в одному з американських інтернет-журналів «QSR» (Quick-service and fast-casual restaurant industries — ресторани швидкого харчування та швидкого обслуговування), що є основним джерелом інформації для індустрії ресторанів швидкого харчування та обслуговування, часто публікуються статті про події в ресторанах такого типу, зокрема і в «Domino's Pizza». У 2020 р. в електронному виданні «QSR» було розміщено PR-матеріал про те, що міжнародна мережа піцерій святкувала 17-тисячне відкриття закладу в місті Брадбурі, Австралія. На цьому заході був присутній топ-менеджмент компанії: виконавчий віце-президент «Domino's International», генеральний директор «Domino's Pizza Enterprises Ltd.», «CEO of Australia» та «the Group CEO and Managing Director of Domino's Pizza Enterprises Ltd». Цей інформаційний матеріал став так званим PR-ходом компанії, який підтверджує доступність компанії для кожного споживача світу, відкритість до своїх клієнтів, завойовуючи при цьому їхню довіру. Це підтверджують слова Дона Мейджа, «The Group CEO and Managing Director of Domino's Pizza Enterprises Ltd.», який зазначив, що відкриття закладу відображає прихильність компанії до міжнародного зростання та розвитку, спрямованості дій у продовженні глобального зростання, відкритті нових піцерій ближче до клієнтів і наданні високоякісних продуктів та сервісу для місцевих жителів.

Розглянемо більш детально рекламну та PR-діяльність компанії «Domino's» в Україні. Як згадувалося вище, компанія представлена в усіх можливих нішах Інтернету. Кожна країна, в якій є представництво компанії, має свій власний офіційний сайт і сторінки в соцмережах. Тому для того, щоб зрозуміти, яка з інтернет-платформ найефективніша для підприємства, потрібно провести попереднє дослідження і чітко зрозуміти, хто є основним споживачем компанії: де клієнт найчастіше знаходиться в Інтернеті, чому саме там і з якою тривалістю перебування. За допомогою карти емпатії було розроблено портрет клієнта. Це ефективний інструмент в інтернет-просуванні, який дає змогу створити цілісний образ споживача компанії, використовуючи такі запитання: «Що людина думає і відчуває?», «Що людина чує?», «Що людина бачить?», «Що людина говорить і робить?» (Кірносова & Савічевич, 2020). Відповіді на ці запитання допомагають зібрати і візуалізувати докладні характеристики цільової аудиторії: їхні проблеми, цінності, досягнення, цілі тощо. І саме карта емпатії для компанії «Domino's» дала змогу з'ясувати, хто є основним споживачем продукції закладів харчування (рис. 1).



Рис. 1. Карта емпатії цільової аудиторії ТОВ «Домінос Піцца Юкрейн»

У результаті отримано загальну характеристику цільової аудиторії компанії, яка дає розуміння, як і куди потрібно рухатися далі.

Наступне дослідження було спрямоване на виокремлення цілісного образу серед конкретних клієнтів компанії за допомогою спеціального опитування, з використанням гугл-форми (<https://forms.gle/Q9B1oEEpubjxCi69>), участь в якому взяло 45 респондентів: 20 чоловіків та 25 жінок. За результатами онлайн-опитування найбільшими інтернет-замовниками продукції «Domino's» є особи віком від 18 до 35 років — 71% усіх опитаних респондентів (рис. 2).

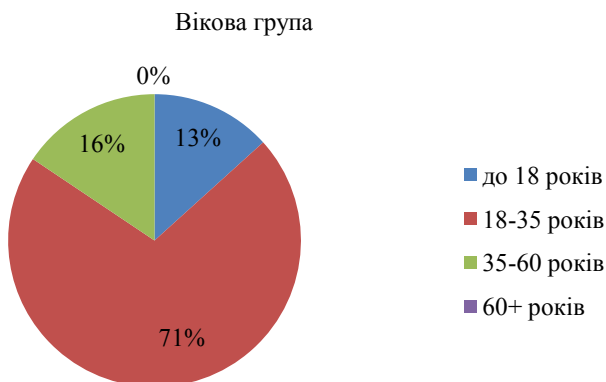


Рис. 2. Цільова аудиторія ТОВ «Домінос Піцца Юкрейн» за віком

Це надає можливість зробити висновок, що цільова аудиторія споживачів компанії — люди молодого віку, які є активними користувачами Інтернету, а отже, саме тут найкраще проводити всі рекламні та PR-кампанії. Крім цього, 55,6% опитаних респондентів — це студенти, 31,1% — люди, що працюють,

13,3% — школярі. Дохід найбільшої частки серед опитаних складає від 5000 до 15000 грн на місяць. Більшість з них — це мешканці Києва (75,6%), де в основному зосереджені заклади харчування мережі «Domino's». Усі вони знають про компанію і в середньому раз на місяць роблять замовлення, здебільшого це саме піца. Хоча більшість опитаних віддає перевагу традиційному відвідуванню закладів харчування, ніж замовленням їжі онлайн. За останні 2 роки така їжа, як піца, найчастіше замовляється через онлайн-сервіси компанії. Також в опитуванні було поставлене запитання: «Звідки ви дізнаєтеся про новинки та акції Domino's?», де можна було обрати декілька відповідей одночасно. На це запитання 72% респондентів відповіли, що дізнаються про всю необхідну інформацію в Інтернеті, особливе місце в якому займають офіційні сторінки «Domino's» у соцмережах: Instagram, Facebook, TikTok, і 28% опитаних обрали інші джерела отримання інформації, зокрема й зовнішню рекламу (вивіски закладів, білборди, інформація розміщена в традиційних ЗМІ тощо) (рис. 3).

Джерела інформації для споживачів продукції «Domino's»

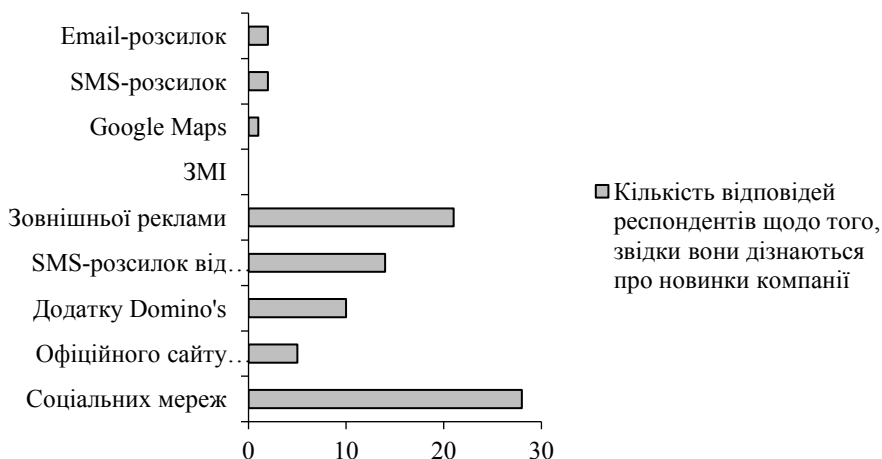


Рис. 3. Джерела інформації для споживачів продукції «Domino's»

Результат проведеного опитування доводить, що традиційні джерела отримання інформації про компанію та її продукти (послуги), як і, власне, рекламні та PR-заходи, вже значно поступаються рекламі і PR, розміщеним онлайн.

Щодо популярності соціальних мереж серед споживачів продукції компанії «Domino's», за результатами опитування лідирували: Instagram — 40% відповідей респондентів, Telegram — 39% (рис. 4).

Необхідно зауважити, що компанія «Domino's» веде активну інтернет-діяльність саме в соціальній мережі Instagram, тож підприємство цілком правильно вибрало нішу для комунікації зі своїм споживачем та розробки рекламних і PR-кампаній. На офіційній сторінці української компанії в Instagram налічується 194 000 користувачів, і це достатньо велика кількість прихильників «Domino's», враховуючи їхню присутність лише в кількох містах України. Саме в Instagram

компанія часто проводить різноманітні опитування, інтерактиви, розіграші серед своїх клієнтів. Тут публікуються як матеріали інформаційного характеру для ознайомлення, так і рекламні та PR-матеріали. Наприклад, PR-пост про відкриття нової піцерії у місті Вінниця (публікація від 04.11.2021) чи рекламний пост про знижку на другу піцу, присвячену до Міжнародного дня студента (публікація від 17.11.2021).



Рис. 4. Рейтинг популярності використання соціальних мереж серед споживачів продукції компанії «Domino's»

При дослідженні соціальних мереж українського підприємства «Domino's» було з'ясовано, що контент публікацій в Instagram та Facebook — однаковий, він повністю дублюється. Ці дві офіційні сторінки компанії в соцмережах вже достатньо давно взаємодіють між собою і підпорядковуються одному SMM. Мінусом такого дублювання публікацій є неврахування особливостей цих спільнот, де цільові аудиторії відрізняється одна від одної: в Instagram зосереджені користувачі більш молодшого віку, тоді як у Facebook — аудиторія більш старша і досвідчена.

У компанії «Domino's» спочатку матеріали поширюються в Instagram і охоплюють молодшу аудиторію, потім вони дублюються в соціальній мережі Facebook з відсутністю конкретного спрямування на свого основного споживача саме в цій соціальній мережі. Тому в майбутньому краще створювати різний контент для цих інтернет-середовищ з метою розмежування цільової аудиторії. Звісно, для цього буде потрібно більше робочого матеріалу, але при цьому буде зростати ефективність рекламних і PR-матеріалів й активність самих клієнтів «Domino's». Тож для кожної соціальної мережі потрібно розробляти окремий, добре продуманий інформаційний матеріал.

Використання цих соціальних мереж як головного середовища для розробки й запуску рекламних і PR-кампаній значно спрощує процес аналізу статистичних

та аналітичних даних, оскільки ці функції вже вбудовані в Instagram і Facebook. На цих платформах легко проводити комунікацію зі своїми споживачами, давати їм швидкий фідбек та активно застосовувати таргетовану рекламу, яка спрямована на конкретну цільову аудиторію, задаючи при цьому певний набір вимог.

Щодо месенджера Telegram, компанія менш активно використовує його для просування. Український «Domino's» має свій власний Telegram-канал, але в ньому публікуються поодинокі опитування, щоб зібрати більше свіжої інформації про своїх клієнтів. Тож Telegram не є основним робочим інструментом для компанії.

Дослідивши відеорекламу «Домінос» на YouTube, варто зазначити, що українська компанія також не є активною в цьому напрямку, на відміну від зарубіжних представництв цієї корпорації. На українському каналі представлені декілька відео власного виробництва, але вони не виходили за межі Інтернету, наприклад, на українське телебачення. Всі інші відеоматеріали — це популярний контент міжнародної корпорації «Domino's».

Контекстна реклама «Domino's», над якою, за нашими спостереженнями, активно працюють фахівці, також є ефективним рекламним інструментом у просуванні компанії. Якщо у пошуковій системі Google здійснити запит за такими ключовими словами, як: «піца купити», «піца», «піца замовити», «піца Київ», то інформація про український корпоративний сайт компанії «Domino's» завжди входить у п'ятірку пошукових результатів. А це, у свою чергу, свідчить про професійну роботу SEO-фахівців компанії, які щоденно працюють над аналізом даних у спеціальних програмах: Google Ads та Google Analytic.

Але, незважаючи на те, що «Domino's» має справді високоефективну рекламну і PR-підтримку в Інтернеті, тут є ще над чим працювати, оскільки багато інтернет-платформ не використовується максимально. Тож для розвитку рекламної та PR-діяльності ТОВ «Домінос Піцца Юкрейн» у майбутньому доцільно було б в Instagram поширювати інформацію серед користувачів, навіть для тих, які не стежать за діяльністю і пропозиціями «Domino's». Таким чином активізується співпраця з блогерами, які мають багатомільйонну аудиторію. У підприємства була така практика, але нині така співпраця не продовжується, тому партнерська взаємодія з ключовими лідерами думок з фіксацією такої роботи на власних сторінках у популярних соціальних мережах компанії та інших інтернет-платформах створюватиме цікавий контент, який користуватиметься попитом серед споживачів і залишатиметься в колі інтересів їхніх постійних переглядів.

Крім цього, «Domino's» потрібно активно попрацювати над відеорекламою, якої дуже мало на їхній сторінці в YouTube. Адже за результатами нашого опитування більшість респондентів довіряє саме відеорекламі.

Наступним кроком з удосконалення рекламної та PR-діяльності в Інтернеті для компанії «Domino's» може бути розвиток і просування своєї сторінки у соціальній мережі в TikTok, яка з кожним днем набуває ще більшої популярності. Ця платформа ідеально підійде для поширення відеоконтенту про компанію чи її продукцію, для онлайн-трансляцій та як елемент продактплейсменту у відео з блогерами.

Також варто покращити український сайт компанії, оскільки зараз він більше розрахований на партнерів чи тих, хто хоче придбати франшизу для ведення бізнесу. Пересічний споживач зможе тільки переглянути меню, акційні пропозиції чи контактні дані. Тому задля більшого фокусування цільової аудиторії компанії на сайті необхідно додати певні комунікативні дописи та інтерактив.

Що стосується інтерактивів, то було б доцільно запровадити фірмові рубрики від «Domino's» як на офіційному сайті, так і на сторінках у соціальних мережах. Так компанія матиме свою індивідуальність, яка відрізнятиме її від інших і забезпечить додаткові конкурентні переваги.

Також найбільш вигідним рішенням задля збільшення ефективності рекламних і PR-матеріалів компанії серед української аудиторії є розвиток Telegram-каналу. Instagram — це платформа візуального контенту, Facebook — текстового, а Telegram — це їх поєднання. Адже він використовується як середовище для спілкування, а отже, саме тут можна розраховувати на швидкі реакції потенційного споживача, застосовуючи ті ж самі рубрики, про які ми згадували вище. Крім цього, для «Domino's» краще залучити фахівців із SMM для Instagram і Facebook, де зосереджена абсолютно різна аудиторія.

Спостерігаючи за діяльністю більшості міжнародних і вітчизняних компаній, які провадять соціально-відповідальний бізнес, для «Domino's» пропонуємо частину коштів з кожного чеку або продажу конкретного продукту (наприклад, 10 грн з кожної проданої піци) віддавати на благодійність або волонтерство. Натепер таку діяльність компанія в Україні не проводить, на відміну від інших закладів харчування. Так, в компанії ПП «МАКДОНАЛЬДЗ ЮКРАЇН ЛТД» вже 20 років діє благодійна акція «Долонька щастя», виручені кошти від якої допомагають покращувати здоров'я та благополуччя дітей. Це не тільки фінансова підтримка нужденним, а й чудовий PR-хід, і, як показало наше опитування, люди з радістю підтримують акції такого спрямування. Тому «Domino's» також може запровадити у своїх піцеріях подібну благодійну акцію задля позиціонування закладу харчування як соціально-відповідального бізнесу за допомогою ефективної інформаційної PR-підтримки такої діяльності в Інтернеті.

Перспективами подальших наукових досліджень цієї теми може бути вивчення інноваційних технологій в інтернет-рекламі і PR та ефективність використання їх в практичній діяльності. На прикладі ТОВ «Домінос Піца Юкрейн» також пропонуємо провести дослідження з визначення економічної ефективності рекламної та PR-діяльності в Інтернеті із застосуванням при цьому різних підходів з економіко-математичного моделювання та прогнозування ситуацій.

Висновки

Проаналізувавши найбільш використовувані інтернет-платформи для просування «Domino's» в Україні, можна зробити висновок, що серед усіх вищезгаданих інтернет-засобів для компанії найефективнішим є розміщення реклами та PR-матеріалів в соціальній мережі Instagram. Про це свідчать дані результатів опитування, дослідження активності користувачів під кожною публікацією на офіційній сторінці «Domino's» в Instagram. Наразі вона поєднує в собі всі мож-

ливі технології рекламних і PR-просувань: відео, текст, аудіо, зображення, постійний взаємозв'язок з цільовою аудиторією. Це відбувається легко, швидко і без додаткових витрат на реалізації рекламних та PR-кампаній, які створювалися раніше до часів стрімкого розвитку Інтернету. Одноманітність набридає, тож завжди потрібно шукати альтернативні варіанти удосконалення рекламної та PR-діяльності в Інтернеті.

Основними рекомендаціями для «Домінос», задля перспектив розвитку їх рекламної та PR-діяльності в Інтернеті, є співпраця з блогерами, активний розвиток своїх акаунтів в YouTube, TikTok і Telegram, удосконалення функціональних можливостей корпоративного сайту для споживачів, впровадження на ньому цікавих фірмових рубрик, створення власного блогу, запуск відеореклами на своїх інтернет-платформах і в мобільних застосунках в колаборації з партнерами.

Отже, компанія в своєму арсеналі має різноманітні шляхи для удосконалення рекламної та PR-діяльності в Інтернеті. Головна рекомендація — не зупинятися, створювати нові, цікаві рекламні та PR-активності і не відставати від трендів. У майбутньому для закладу харчування «Домінос» необхідно розширювати свою геолокаційну карту і відкривати піцерії у всіх великих містах України. Це не тільки примножить прибутки компанії, а й розширить цільову аудиторію, оскільки основним споживачем «Domino's» є молодь, потрібно збільшувати коло клієнтів серед молоді та залучати споживачів інших вікових категорій.

Література

Голідей, Р. (2018). *Маркетинг майбутнього. Як гроуз-хакери змінюють правила гри*. Київ: Наш формат.

Дейнекин, Т. В. (2014). Понятие и организация партнерского онлайн-маркетинга. *Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ»*, 2, 1—10.

Ілляшенко, Н. С., Савченко, О. С. (2012). SEO-оптимізація як сучасний інструмент інтернет-маркетингу. *Маркетинг і менеджмент інновацій*, 3, 63—74.

Карпыкбаева, А. Б. (2019). Маркетинг влияния (Influencer-маркетинг) как стратегия бренда. *Вестник экономики, права и социологии. Экономика*, 4, 16—19.

Кірносова, М. В., Савічевіч, О. П. (2020). Використання карт емпатії для підвищення конкурентоспроможності товарів на ринку. *Економіка та суспільство*, 12, 1—7.

Курбан, О. В. (2012). *Діагностика та моделювання PR-процесів*. Київ: Українська конфедерація журналістів.

Лимарова, О. Д., Веретено, А. А. (2016). Роль event-маркетинга в управленні брендом. *Молодой учёный*, 29(133), 435—437.

Николаева, М. А. (2017). *Интернет-реклама в продвижении товаров и услуг*. Екатеринбург: ФГБОУ ВО «УрГПУ».

Полякова, А. В., Бородин, И. П. (2015). Роль таргетинга в интернет маркетинге. *Творческий научный обозреватель*, 5, 116—118.

Радзіговська, Ю. М. (2017). Функціонування PR-технологій та реклами в Інтернеті. *Науковий вісник Мукачівського державного університету. Серія «Економіка»*, 12, 315—318.

Савельєва, И. П., Никулин, Д. Н. (2014). Оценка эффективности интернет-рекламы с помощью систем веб-аналитики. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент»*, Том 8, 3, 99—105.

Світвуд, А. (2019). *Маркетингова аналітика. Як підкріпити інтуїцію даними*. Київ: Наш формат.

Сендецька, С. В. (2016). Сучасний стан та перспективи розвитку рекламного ринку України та світу. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*, 2(69), 132—135.

Тарасова, Н. Е., Кадацкая, Е. Д. (2020). Реклама и её роль в современном мире. *Журнал «У».* Экономика. Управление. Финансы, 2, 306—314.

Толмачев, А. Н. (2017). *Реклама в Интернете. Курс молодого бойца*. СПб.: БХВ-Петербург.

Яненко, Я. (2018). Тизерна реклама як складова сучасних рекламних комунікацій. *Образ*, 2(28), 118—125.

Яцюк, Д. В. (2018). *Реклама в Інтернеті*. Київ: Київ. нац. торг.-екон. ун-т.

Gray, D. (2017). Updated Empathy Map Canvas. Взято з: <https://medium.com/the-xplane-collection/updated-empathy-map-canvas-46df22df3c8a>.

Helberger, N., Huh, J., Milne, G., Strycharz, J., & Sundaram, H. (2020). Macro and exogenous factors in computational advertising: Key issues and new research directions. *Journal of Advertising*, Vol.49, 4, 377—393.

QSR, Food News Media (2020). Domino's Celebrating 17,000th Store Opening. Взято з: <https://www.qsrmagazine.com/news/dominos-celebrating-17000th-store-opening>.

HR-NAVIGATOR ON ANTI-DISCRIMINATION LEGISLATION AT THE STAGE OF SEARCHING AND SELECTION OF CANDIDATES

Y. Hryniuk

National University of Food Technologies

Key words:

*Anti-discrimination
legislation
HR-navigator
HR-manager
Candidate
Employment
Vacancy*

Article history:

Received 13.01.2022
Received in revised form
25.01.2022
Accepted 08.02.2022

Corresponding author:

Y. Hryniuk
E-mail:
ulgrin@ukr.net

ABSTRACT

The navigation system of anti-discrimination legislation, which regulates all possible situations which may be encountered by HR-managers (recruiters) at the stage of search and selection of candidates, was formed in the article. To assess the extent of discrimination in employment in Ukraine, data from large-scale sociological surveys over the past six years were analyzed. The content of the definition of “discrimination” in the legislative and legal perspective was disclosed and a list of legal grounds for refusing candidates when applying for a job, and the difference between unjustified and unlawful refusals were identified. It was found that in both cases, such refusals threaten HR-managers and their employers with penalties, and in case of illegal refusal — including criminal liability for violation of labor laws.

The study revealed legal prohibitions in text advertising (announcements) about vacancies published on recruitment portals, career pages or in thematic groups in social networks of employers. Recommendations for avoiding typical mistakes by HR-managers during its creation (compilation), in particular, on the formulation of job titles, avoidance of restrictive signs to candidates not related to the nature of the job or position, the use of declarative phrases positioning the employer as a socially responsible company with an inclusive workspace are presented. The list of additional guarantees provided by Ukrainian legislation to assist in the employment of certain categories of citizens, for example, those who suffer from discriminatory treatment: age (ageism) and/or disability or disability (ableism) was determined.

Using specific examples, various forms of discrimination against applicants for vacant positions (direct, indirect, incitement to discrimination, complicity in discrimination and harassment) are distinguished, which in practice are difficult to identify.

HR-НАВІГАТОР З АНТИДИСКРИМІНАЦІЙНОГО ЗАКОНОДАВСТВА НА ЕТАПІ ПОШУКУ ТА ПІДБОРУ КАНДИДАТІВ

Ю. М. Гринюк

Національний університет харчових технологій

У статті сформовано систему навігації антидискримінаційним законодавством, що регламентує всі можливі ситуації, які можуть спіткати HR-менеджерів (рекрутерів) на етапі пошуку та підбору кандидатів. З метою оцінки масштабів дискримінації у сфері працевлаштування в Україні проаналізовано дані масштабних соціологічних опитувань за останні шість років. Розкрито зміст дефініції «дискримінація» в законодавчо-правовому ракурсі та визначено перелік законних підстав для відмови кандидатам при прийомі на роботу, а також різницю між необґрунтованою та незаконною відмовами. З'ясовано, що в обох випадках такі відмови загрожують HR-менеджерам та їх роботодавцям штрафними санкціями, а в разі незаконної відмови — включно до кримінальної відповідальності за порушення трудового законодавства.

У ході дослідження виявлено законодавчі заборони в текстовій рекламі (оголошеннях) про вакансії, що публікують на кадрових порталах, кар'єрних сторінках чи в тематичних групах у соціальних мережах компаній-роботодавців. Надано рекомендації щодо уникнення HR-менеджерами типових помилок при її створенні (складанні), зокрема стосовно формулювання назв посад, уникнення обмежувальних ознак до кандидатів, які не пов'язані з характером виконуваної роботи або посадою, використання фраз-декларантів, що позиціонують роботодавця як соціально відповідальну компанію з інклюзивним робочим простором. Складено повний перелік додаткових гарантій (квот), передбачених українським законодавством задля сприяння в працевлаштуванні окремих категорій громадян, приміром тих, що найбільше потерпають від дискримінаційного ставлення: за віком (ейджизм) та/або ознакою інвалідності чи обмежених фізичних можливостей (ейблїзм).

На конкретних прикладах розмежовано різні форми прояву дискримінації до претендентів на вакантні посади (пряма, непряма, підбурювання до дискримінації, пособництво у дискримінації та утиск), які на практиці важко ідентифікувати.

Ключові слова: антидискримінаційне законодавство, HR-навігатор, HR-менеджер, кандидат, працевлаштування, вакансія.

Постановка проблеми. Дискримінація в сфері праці і трудових відносин прямо заборонена законодавством усіх цивілізованих країн світу. Проте на практиці нерідко виникають спірні та/або неправомірні ситуації через її вчинення щодо кандидатів під час працевлаштування, які здебільшого пов'язані з правовою неосвіченістю та відсутністю культури толерантності в HR-менеджерів.

Вчинена ними трудова дискримінація на будь-якому етапі життєвого циклу працівника тягне низку негативних наслідків, як-от: сплату штрафних санкцій (фінансових, адміністративних) і витрати роботодавця на судові позови; ризик втрати останнім репутації, тим паче, якщо інформація про такі порушення вийшла за межі компанії і стала предметом громадського осуду; ризик втрати професійної репутації власне HR-менеджерами через порушення ними норм не лише суспільної моралі, але й професійної етики. Адже в їх етичному кодексі, розробленому міжнародною Спілкою з управління людськими ресурсами (Society for Human Resource Management — SHRM), принцип неупередженості та справедливості означає, що HR-менеджер має організовувати робоче середовище на засадах різноманіття, рівності (недискримінації) та інклюзивності, а в управлінських рішеннях керуватись положеннями трудового законодавства країни перебування роботодавця (SHRM, 2014).

Зважаючи на той факт, що ймовірність вчинення трудової дискримінації є високою на всіх етапах HR-менеджменту (від найму, безпосереднього управління до звільнення) і на кожному з них має свою специфіку, межі досліджень у пропонованій статті звужені до аналізу антидискримінаційного законодавства України виключно на етапі пошуку та підбору кандидатів, де сконцентрована чи не найбільша кількість явних і неочевидних його порушень, які водночас не знаходять достатнього висвітлення в науковій літературі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед сучасних досліджень за окресленою тематикою варто відзначити працю вітчизняних вчених (Фулей & Федорович, 2017) щодо особливостей антидискримінаційного законодавства у сфері праці та завуальованих проявів трудової дискримінації, наукові доробки (Сахарук, 2018; Чижова, 2019) щодо реалізації в Україні принципу рівних прав та можливостей працівників на ринку праці і державних гарантій недискримінації на етапі працевлаштування. Проте більша частина статті побудована на результатах авторського аналізу законодавчої бази України з питань, що порушуються.

Метою дослідження є формування для потреб HR-менеджменту системи навігації антидискримінаційним законодавством, що регламентує всі етапи підбору персоналу: від моменту пошуку кандидатів і складання тексту вакансії до їх найму.

Матеріали і методи. Як матеріали дослідження використано дані соціологічних опитувань, проведених аналітичними агентствами і громадськими організаціями в Україні за підтримки міжнародних інституцій, зокрема Європейської комісії, Програми розвитку ООН в Україні, Фондом ООН у галузі народонаселення в Україні, а також законодавчу і нормативно-правову документацію, яка містить антидискримінаційні норми трудового права, в тому числі спеціальні закони, спрямовані на запобігання та протидію дискримінації, забезпечення гендерної рівності та соціального захисту окремих категорій громадян щодо їх зайнятості і працевлаштування в Україні. В ході дослідження використано такі методи: аналізу та синтезу, групування та порівняння, наукового абстрагування та логічного узагальнення.

Викладення основних результатів дослідження. Про масштаби наявної в Україні проблеми дискримінації у сфері працевлаштування та стереотипи при

виборі українцями професій, які часто призводять до її проявів ще на етапі пошуку кандидатів, свідчать результати досліджень, проведених вітчизняними громадськими організаціями за підтримки європейських і міжнародних інституцій упродовж 2016—2021 рр. (табл. 1).

Таблиця 1. Дані соціологічних опитувань стосовно проявів дискримінації під час працевлаштування та стереотипів у професійній сфері в Україні

№	Джерела	Результати
1	Українські ландшафти дискримінації (скорочений звіт за результатами соціологічних досліджень)	Трудова сфера займає 2-е місце після медицини, де українці відчують себе найбільш дискримінованими (максимально на Півдні України — 44%). Кожен 3-й українець (33% респондентів) зазнає дискримінації на роботі (при прийомі, у трудових стосунках із роботодавцем). Найчастіше у сфері працевлаштування люди відчують дискримінацію за віком (вже після 35 років) і статтю (для жінок це превалююча ознака дискримінації при прийомі на роботу).
2	Що українці знають і думають про права людини: оцінка змін 2016—2020 рр.	Загальна оцінка дотримання прав людини у сфері соціального та економічного права, куди включено право на працю та її сприятливі (справедливі) умови, є найнижчою серед інших видів прав громадян продовж усіх років дослідження (в 2020 р. — 2,46 за шкалою від 1 до 5).
3	Всеукраїнське опитування працюючих студентів щодо деяких аспектів трудових відносин	Більше половини працюючих студентів (52,5%) стикались з вимогами (умовами), які можна вважати дискримінаційними, в оголошеннях про роботу або під час співбесіди (жінки частіше за чоловіків: 56,9% проти 41,6%). ТОП-3 випадки дискримінації, які траплялись зі студентами найчастіше при працевлаштуванні, стосувались: відсутності досвіду (77,8%), надто молодого віку (67,1%) та статі (37,3%). Серед інших дискримінаційних вимог роботодавців: наявність дітей, сімейний стан, претензії до зовнішнього вигляду, відмова через відсутність реєстрації у певному населеному пункті тощо.
4	Чим керуються українці та українки при виборі професій: результати національного дослідження щодо ключових чинників та стереотипів	56% українців у віці понад 14 років погоджуються з тим, що є професії, які можна вважати виключно «чоловічими» або «жіночими». Цей стереотип часто призводить до дискримінації ще на етапі пошуку кандидатів. 79% респондентів зазначили хоча б один гендерно-стереотипний чинник у розподілі ними професій на чоловічі та жіночі, найчастіше — традиційну суспільну думку, виховання в родині та професійну орієнтацію у школі. Серед ТОП-3 «жіночих» професійних напрямків — догляд за дітьми, прибирання, освіта та педагогіка; трійку «гендерно-нейтральних» професій формують сфери телебачення, спорту, а також маркетингу, медіа і комунікацій.

Джерело: узагальнено автором на підставі (Інформаційний центр «Майдан Моніторинг» — Дослідницьке бюро «SocioLogist», 2016; Фонд «Демократичні ініціативи» ім. Ілька Кучеріва — Центр прав людини ZMINA, 2020; Інститут громадянської освіти та праці — Фонд ім. Ф. Еберта, 2021; Фонд ООН в галузі народонаселення в Україні (ЮНФПА Україн), 2021).

Оскільки правова обізнаність HR-менеджерів (рекрутерів) з питань антидискримінаційного законодавства при роботі з кандидатами належить до кола їх професійних компетенцій, подальше завдання зводиться до формування за цими питаннями HR-навігатора — інформаційно-аналітичного путівника, яким мають керуватися в роботі спеціалісти з підбору персоналу і який включатиме такі змістовні положення: підстави для обґрунтованої (недискримінаційної) відмови у працевлаштуванні кандидатам; обмежувальні вимоги до оголошень (реклами) про вакансію, спрямовані на протидію дискримінації; додаткові гарантії держави у сприянні працевлаштуванню окремих категорій громадян, найбільш уразливих у дискримінаційному відношенні і через це — менш конкурентоспроможних на ринку праці; різні форми прояву дискримінації з боку HR-менеджерів до кандидатів, ідентифіковані з метою їх подальшого запобігання.

Щодо самої дефініції «дискримінація», то вона трактується як «ситуація, за якої особа та/або група осіб за їх ознаками раси, кольору шкіри, політичних, релігійних та інших переконань, статі, віку, інвалідності, етнічного та соціального походження, громадянства, сімейного та майнового стану, місця проживання, мовними або іншими ознаками, які були, є та можуть бути дійсними або припущеними, зазнає обмеження у визнанні, реалізації або користуванні правами і свободами в будь-якій формі, крім випадків, коли таке обмеження має правомірну, об'єктивно обґрунтовану мету, способи досягнення якої є належними та необхідними» (Про засади запобігання та протидії дискримінації в Україні, 2012). Більш розширений перелік ознак, за якими заборонена дискримінація у сфері праці, включає: підозру чи наявність захворювання на ВІЛ/СНІД, сексуальну орієнтацію, належність до професійних спілок, участь у страйку тощо (Кодекс законів про працю України, 1971).

Як бачимо, в антидискримінаційному Законі (Про засади запобігання та протидії дискримінації в Україні, 2012) визначення поняття дискримінації (остання фраза речення зі слів «крім випадків...») допускаються ситуації, коли різне ставлення до кандидатів і відмова у прийнятті на роботу є обґрунтованими. Про це також йдеться у (Кодекс законів про працю України, 1971), де вказано, що законодавством можуть встановлюватись вимоги щодо «віку, рівня освіти і стану здоров'я працівника», проте і ці вимоги не є вичерпними. Зокрема, відмова у працевлаштуванні буде законною і такою, що не порушує антидискримінаційне законодавство, через невідповідність кандидата вимогам наявності громадянства України, певного рівня освіти, у тому числі післядипломної, мінімального стажу роботи за спеціальністю для зайняття посади, віку, статі, стану здоров'я, спільної роботи родичів, судимості (незнятої, непогашеної). Інколи до посади пред'являються одразу декілька таких вимог. Для прикладу, на посаду судді може призначатись лише «громадянин України, не молодший 35 і не старший 65 років, який має вищу юридичну освіту і стаж професійної діяльності у сфері права щонайменше 5 років ... та володіє державною мовою» (Конституція України, 1996). Натомість кандидати на посаду судді в спеціалізованих судах мають обмеження лише за освітою і стажем роботи за професією. Також з конкурсу на суддівські крісла автоматично вибувають претенденти із незнятою чи непогашеною судимістю.

Вимоги до кандидата на певну посаду не вважатимуться дискримінаційними тільки, якщо вони зафіксовані у відповідних законодавчих актах чи в Довіднику кваліфікаційних характеристик професій працівників. У випадку завищених або «надуманих» HR-менеджером вимог до кандидата відмова у прийнятті його на роботу за причиною невідповідності їм буде необґрунтованою або незаконною, що є грубим порушенням законодавства про працю.

У законодавчо-нормативній документації фігурує лише термін «необґрунтована відмова» в контексті працевлаштування, проте і він не має чіткого визначення, лише окремі роз'яснення щодо трактування змісту. З нашого погляду, слід розрізняти ці два поняття: необґрунтованою є безпричинна відмова у прийнятті кандидата на роботу за наявності вакантних робочих місць або відмова з мотивів, які не стосуються його ділових чи професійних якостей; незаконна відмова — це відмова з будь-яких дискримінаційних мотивів, проголошених актами міжнародного трудового права і ратифікованих Україною, або всупереч законодавчим заборонам. Наприклад, забороняється відмова у прийнятті на роботу жінкам і зниження їм заробітної плати «з мотивів, пов'язаних із вагітністю або наявністю дітей віком до 3 років, а одиноким матерям — за наявності дитини віком до 14 років або дитини з інвалідністю» (Кодекс законів про працю України, 1971). У разі відмови в працевлаштуванні цим категоріям жінок менеджер персоналу повинен повідомити причини такого рішення виключно в письмовій формі. Крім того, забороняється відмовляти в прийнятті на роботу та звільненні працівника з мотивів досягнення пенсійного віку (Про основні засади соціального захисту ветеранів праці та інших громадян похилого віку в Україні, 1993), через інвалідність, окрім випадків, коли за висновком медичної експертизи стан здоров'я особи з інвалідністю «перешкоджає виконанню професійних обов'язків, загрожує здоров'ю і безпеці інших» працівників (Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні, 1991).

Необґрунтована відмова у прийнятті на роботу вважається порушенням трудового законодавства, за що передбачено санкції: фінансовий штраф для роботодавця в розмірі однієї мінімальної зарплати за кожне порушення, виявлене в ході перевірки державними інспекторами праці (Кодекс законів про працю України, 1971); адміністративний штраф на посадових осіб підприємств (установ, організацій) у розмірі від 30 до 100 неоподаткованих мінімумів доходів громадян (Кодекс України про адміністративні правопорушення, 1984). Незаконна відмова повинна бути визнана такою судовим рішенням із призначенням покарання, включно до кримінального, як за злочин.

Отже, в роботі з потенційними претендентами на вакантну посаду HR-менеджеру (рекрутеру) необхідно з'ясувати їх належність до категорії осіб, яким заборонено відмовляти у працевлаштуванні або відмова яким має бути оформлена письмово, та ретельно підійти до обґрунтування її причин з посиленнями на норми законодавства та/або реальні докази відсутності у кандидата ділових чи професійних якостей, не відповідних посаді.

Зазначимо, що HR-менеджер стикається з антидискримінаційними стандартами у професійній діяльності ще на етапі, коли він не знайомий з кандидатом, а тільки займається його пошуком, публікуючи вакансії на кадрових порталах,

кар'єрній сторінці чи в тематичних групах у соціальних мережах. Українське законодавство забороняє дискримінацію в оголошеннях (рекламі) про вакансію, коли у будь-який спосіб віддається перевага тому чи іншому кандидату за певними персональними ознаками, а саме — в оголошеннях (рекламі) про вакансії чи прийом на роботу не дозволяється:

- зазначати вимоги, що обмежують вік кандидата, стать, за винятком специфічної роботи, яка може виконуватись лише особами певної статі, расу, колір шкіри, політичні та релігійні переконання, членство в будь-яких професійних чи громадських спілках, етнічне чи соціальне походження, майновий стан, а також місце проживання і мову спілкування (Про зайнятість населення, 2012; Про рекламу, 1996);

- вимагати від осіб, які працевлаштовуються, інформацію про їх особисте життя і плани щодо дітонародження (Про забезпечення рівних прав і можливостей жінок і чоловіків, 2005).

Компанія, яка надала рекламу із порушенням вказаних вимог до текстового контенту вакансії, сплачує штраф до Фонду державного соціального страхування України на випадок безробіття у 10-кратному розмірі мінімальної зарплати, що діяла на момент виявлення порушення (Про рекламу, 1996).

Моніторинг автором статті тексту вакансій на популярних кадрових порталах (ggs.ua, rabota.ua) дав змогу дійти висновку, що їх модератори, дбаючи про корпоративну репутацію ресурсів перед користувачами, вводять принцип недискримінації в правила розміщення публікацій, хоча і тут зустрічаються непоодинокі винятки. Численні та менш рейтингові групи з пошуку роботи (кандидатів) у Facebook, Viber і Telegram значно частіше розміщують оголошення (рекламу) про вакансії з некоректними формулюваннями на кшталт: «шукаємо контент-менеджера віком до 30 років», або «перевага надається чоловікам», які можна вважати підставами для звинувачень у дискримінації кандидатів. Тут проблема криється у некомпетентності трьох сторін: HR-менеджерів вітчизняних компаній, що складають тексти вакансій із дискримінаційними порушеннями; державних органів, на які покладено функції контролю за їх виявленням; модераторів job-ресурсів, що їх розміщують без скринінгу і належних коригувань.

З урахуванням зазначеного, при складанні оголошень (реклами) про вакансії HR-менеджерам доцільно:

- 1) формулювати назви посад, використовуючи нейтральну форму або закінчення для обох статей (посади-іменники чоловічого роду та фемінітиви);

- 2) уникати будь-яких обмежувальних ознак до кандидатів, які не пов'язані з характером виконуваної роботи (посади) і наявність яких не вимагається трудовим законодавством та/або Довідником кваліфікаційних характеристик професій працівників (приміром, наявність власного автомобіля не для водіїв служб таксі, певного місця проживання, «презентабельного» вигляду чи «спортивної статури», відсутності шкідливих звичок). За інших обставин такі обмеження можуть розцінюватись кандидатом як упереджене ставлення до нього з боку роботодавця і як обґрунтована підстава для звинувачень у дискримінації;

- 3) вдаватись до фраз, що декларують роботодавця як соціально відповідальну компанію, яка дбає про різноманіття та інклюзію в колективі, тим паче, якщо

певні категорії кандидатів недостатньо представлені з-поміж персоналу, як-от особи з інвалідністю (тут доречними будуть фрази на зразок «вітаються резюме від кандидатів з інвалідністю»), пенсійного віку, випускники закладів вищої освіти без досвіду роботи тощо.

Щодо реалізації останнього пункту, то законодавством України запроваджено додаткові гарантії у сприянні працевлаштуванню окремих категорій громадян, які мають в обов'язковому порядку враховуватись менеджерами персоналу ще під час планування потреби в ньому. Передусім йдеться про громадян, що найбільше потерпають від нерівного ставлення, зокрема від ейджизму (дискримінація за віком) та ейблізму (дискримінація за інвалідністю та обмеженими фізичними можливостями), і для яких держава встановлює квоти — норматив на працевлаштування (табл. 2).

Таблиця 2. Квоти на працевлаштування окремих категорій громадян в Україні як приклад недискримінаційних заходів у його сприянні

№	Категорії громадян	Умова	Розмір квоти
1	Один із батьків або особа, яка їх замінює і має на утриманні дитину (з обмеженнями до віку та/або наявності інвалідності); діти-сироти та діти, позбавлені батьківського піклування; особи, яким виповнилось 15 років та які за згодою одного з батьків (особи, яка їх замінює), можуть прийматись на роботу; особи, звільнені від відбуття покарання та примусового лікування; молодь, яка закінчила навчальні заклади, звільнилась з військової (альтернативної) служби і вперше приймається на роботу; особи, яким до настання права на пенсію залишилось 10 і менше років; учасники бойових дій (окремі категорії)	Чисельність штатних працівників: понад 20 осіб	5% середньооблікової чисельності штатних працівників (далі — СОЧ) за попередній календарний рік
2	Особи, яким до настання права на пенсію залишилось 10 і менше років	Від 8 до 20 осіб	Не менше 1 особи у СОЧ
3	Особи з інвалідністю (не пенсіонери)	Понад 25 осіб	4% СОЧ облікового складу за рік
		Від 8 до 25 осіб	1 робоче місце

Джерело: складено автором на підставі (Про зайнятість населення, 2012; Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні, 1991).

За невиконання продовж року квот для працевлаштування громадян у пунктах 1 і 2 табл. 2 передбачено штрафні санкції до роботодавця «за кожну необгрунтовану відмову у працевлаштуванні таких осіб у межах відповідної квоти у двократному розмірі мінімальної заробітної плати, встановленої на момент виявлення порушення» (Про зайнятість населення, 2012); за невиконання квот з пункту 3 табл. 2 — адміністративно-господарські санкції, сума яких дорівнює середньорічній заробітній платі по підприємству за кожне робоче місце, а якщо там

працює від 8 до 15 осіб — половині від цієї суми (Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні, 1991).

Насамкінець варто наголосити, що в українському законодавстві розмежовують різні форми прояву дискримінації, як-от: пряма, непряма, підбурювання до дискримінації, пособництво у дискримінації та утиск (Про засади запобігання та протидії дискримінації в Україні, 2012). І якщо пряма дискримінація, коли до претендента на вакансію виявляють менш прихильне ставлення через певні його ознаки, ніж до інших в аналогічній ситуації працевлаштування, є очевидною і більшість інформації у статті стосується саме її, то ідентифікувати інші форми дискримінації на практиці інколи важко. В процесі пошуку та підбору персоналу їх прикладами можуть бути:

- завуальований натяк на вік у тексті вакансії (фраза «шукаємо активну молоду людину в дружній колектив»), призначення співбесіди або проходження певного етапу конкурсного відбору в суботу для кандидатів-юдеїв або адвентистів можуть розцінюватись як непряма дискримінація (в першому прикладі — за віком, в другому — за релігійними переконаннями);

- усна вказівка від керівника компанії HR-менеджеру про «відсіювання» на співбесіді кандидаток із малолітніми дітьми або людей «неслов'янської» зовнішності є підбурюванням (закликом щодо перешкодження доступу у працевлаштуванні за певною ознакою) до дискримінації, а якщо HR-менеджер її виконує — це пособництво в дискримінації;

- зневажливі коментарі чи образливі, зокрема, сексистські жарти на адресу кандидата чи кандидатки, навмисне ускладнення конкурсних завдань, аби хтось із них не пройшов відбір через, припустимо, фізичні вади, є дискримінаційним утиском.

Висновки

Дотримання HR-менеджерами компаній вимог антидискримінаційного законодавства у трудових відносинах є вкрай важливим з точки зору уникнення негативних правових наслідків дискримінаційної поведінки як для них, так і для роботодавців, а також звинувачень на їх адресу в упередженому ставленні, стереотипному мисленні та соціальній сегрегації. На етапі підбору та пошуку кандидатів це питання набуває особливого значення, оскільки безпосередньо впливає на формування розмаїтої конкурентоспроможності команди та культури інклюзії. Запропонований у статті HR-навігатор з антидискримінаційного законодавства при роботі з кандидатами розставляє в ньому основні акценти, на які менеджерам персоналу слід звернути увагу, та орієнтує їх на виконання професійних обов'язків у правовому полі.

Література

Громадська організація «Інститут громадянської освіти та праці» — Фонд ім. Ф. Еберта (2021). Всеукраїнське опитування працюючих студентів щодо деяких аспектів трудових відносин. Взято з http://fes.kiev.ua/n/cms/fileadmin/upload2/Opituvannya_studentiv2021.pdf.

Закон України «Про забезпечення рівних прав і можливостей жінок і чоловіків» (2005). Взято з: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2866-15>.

Закон України «Про зайнятість населення» (2012). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5067-17>.

Закон України «Про засади запобігання та протидії дискримінації в Україні» (2012). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5207-17>.

Закон України «Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні» (1991). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/875-12>.

Закон України «Про основні засади соціального захисту ветеранів праці та інших громадян похилого віку в Україні» (1993). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3721-12>.

Закон України «Про рекламу» (1996). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/270/96-%D0%B2%D1%80>.

Інформаційний центр «Майдан Моніторинг» — Дослідницьке бюро «SocioLogist» (2016). Українські ландшафти дискримінації. Скорочений звіт за результатами соціологічного дослідження. Харків. Взято з https://maidan.org.ua/wp-content/uploads/2016/04/Буклет_Ландшафти-Дискримінації_SocioLogist.pdf.

Кодекс законів про працю України (1971). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08>.

Кодекс України про адміністративні правопорушення (1984). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80731-10>.

Конституція України (1996). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр#Text>.

Сахарук, І. С. (2018). Рівні можливості та рівне ставлення у сфері зайнятості як правовий індикатор гідної праці в Україні. *Науковий вісник публічного та приватного права*, 3, 103—108.

Фулей, Т. І., Федорович, І. Ю. (2017). *Порадник із запобігання та протидії дискримінації*. Київ: Рада Європи, Видавництво «Фенікс».

Чижова, Д. А. (2019). Принцип рівності та захист від дискримінації у трудових відносинах. *Актуальні проблеми вітчизняної юриспруденції*, 2, 62—64.

Фонд «Демократичні ініціативи» ім. Ілька Кучеріва — Центр прав людини ZMINA (2020). Що українці знають і думають про права людини: оцінка змін (2016—2020). Взято з <https://dif.org.ua/uploads/pdf/1752750785fd209f785d5b3.14537781.pdf>.

ЮНФПА Україна (2021). Чим керуються українці та українки при виборі професій: результати національного дослідження щодо ключових чинників та стереотипів. Взято з https://ukraine.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/prezation_trampoline_ukr_1.pdf.

SHRM (2014). *Code of Ethics*. Retrieved from <https://www.shrm.org/about-shrm/pages/code-of-ethics.aspx>.

MICROECONOMIC ANALYSIS OF THE SAUSAGE MARKET: DEMAND

H. Kundieieva, O. Tur

National University of Food Technologies

Key words:

Sausage market

Demand

Income

Price

Commodity-substitute

Article history:

Received 21.01.2022

Received in revised form
02.02.2022

Accepted 16.02.2022

Corresponding author:

H. Kundieieva

E-mail:

g_a_k@ukr.net

ABSTRACT

The market of meat and meat products is characterized as a social market, the capacity of which can serve as a sign of well-being of the population of the country. The research of peculiarities of demand formation at the market of sausage products becomes actual at growth of value of free time. Two methods of demand volume prognostication were considered: the classical method, using income and price as factors; the modified method as adaptation of the classical approach to the present time, namely, taking into account the whole complex of interconnected factors. The program PHStat was used in the research, which, firstly, allows to combine the classical and modified methods, and, secondly, to determine the best subsets of the models for a given number of independent variables. The state of the sausage products market was analyzed and the time lags of the recession were determined. For the construction of the prognosticating model of the volume of demand for sausage products of boiled meat and frankfurters except for such indicators as average price for sausage products of boiled meat and frankfurters and average monthly nominal wages in the year under research the following indicators were offered: average monthly nominal wages in the previous year; average price for a substrate product (poultry meat).

The obtained model was analyzed and the following conclusions were obtained: firstly, a 1% increase in the average price of poultry meat will cause an increase in consumption of cooked meat and sausage products by 1.05%; the 1% increase in the average price of cooked meat and sausage products will lead to a decrease in their consumption by 0.96%. Secondly, an increase in the average monthly nominal wage in the year under study by 1% reduces the purchase of cooked meat and sausage products by 0.23%; an increase in the average monthly nominal wage in the previous year by 1% will lead to a decrease in the consumption of cooked meat and sausage products by 0.11%. The obtained results allow referring (in accordance with the theory of consumer behavior) this segment of sausage products to the group of inferior goods. The structure of consumer demand and the change in its volume under the influence of various factors at any time reflects the objectively existing limits of consumer behavior in the distribution of their own income for the purchase of one or another segment of sausage products.

МІКРОЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ РИНКУ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ: ПОПИТ

Г. О. Кундєєва, О. В. Тур

Національний університет харчових технологій

Охарактеризовано ринок м'яса та м'ясопродуктів як ринок соціального спрямування, ємність якого може служити ознакою добробуту населення країни. За умов зростання цінності вільного часу актуальним стає дослідження особливостей формування попиту на ринку ковбасних виробів. Розглянуто дві методики прогнозування обсягу попиту: класична методика, що використовує як фактори дохід і ціну; модифікована методика як адаптація класичного підходу до теперішнього часу, зокрема врахування цілого комплексу взаємопов'язаних чинників. У дослідженні використано програму PHStat, яка, по-перше, дає змогу поєднати класичну та модифіковану методики, по-друге, визначити якнайкращі підмножини моделей для заданої кількості незалежних змінних.

Досліджено стан ринку ковбасних виробів і визначено часові лаги рецесії. Для побудови прогнозової моделі обсягу попиту на вироби ковбасні з м'яса варені та сосиски, окрім таких показників, як середня ціна на вироби ковбасні з м'яса варені та сосиски і середньомісячна номінальна заробітна плата в досліджуваному році, запропоновано ще показники: середньомісячна номінальна заробітна плата в попередньому році; середня ціна на товар-субститут (м'ясо птиці).

Проаналізовано одержану модель та зроблено такі висновки: по-перше, збільшення на 1% середньої ціни на м'ясо птиці призведе до збільшення споживання виробів ковбасних з м'яса варених і сосисок на 1,05%; збільшення на 1% середньої ціни виробів ковбасних з м'яса варених і сосисок призведе до зниження їх споживання на 0,97%. По-друге, збільшення середньомісячної номінальної заробітної плати в досліджуваному році на 1% скорочує обсяг купівлі виробів ковбасних з м'яса варених і сосисок на 0,23%; збільшення середньомісячної номінальної заробітної плати у попередньому році на 1% призведе до зниження споживання виробів ковбасних з м'яса варених і сосисок на 0,11%. Отримані результати дають змогу віднести (відповідно до теорії поведінки споживача) цей сегмент ковбасних виробів до групи неповноцінних товарів. Структура споживчого попиту та зміна його обсягу під впливом різних чинників у будь-який період часу віддзеркалює об'єктивно існуючі межі поведінки споживачів у розподіленні власних доходів на придбання того чи іншого сегмента ковбасних виробів.

Ключові слова: ринок ковбасних виробів, попит, дохід, ціна, товар-субститут.

Постановка проблеми. Посилення процесів глобалізації та інтеграція України до світової спільноти висувають нові вимоги до розвитку м'ясопереробної галузі — відповідність міжнародним стандартам якості, екологічності та безпеки. Виробництво м'ясопродуктів залишається для України пріоритетним, а виробництво ковбасних виробів складає 30% від загального обсягу готової м'ясної продукції та є індикатором добробуту населення країни. Під час епідемії Covid 2019 багато підприємств тимчасово скоротили свою діяльність, що спричинило зростання безробіття та зниження добробуту населення країни, наслідком чого може бути падіння попиту на ковбасні вироби.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням ринку м'ясопереробної галузі присвячено багато наукових досліджень, де висвітлені особливості відродження та становлення галузі (Шпичак, Боднар & Копитець, 2014). Вітчизняні вчені (Страшинська & Шеремет, 2021) доводять, що вітчизняний ринок м'яса та м'ясних продуктів відрізняється слабкою консолідацією основних товаровиробників, високим рівнем конкуренції та значною диверсифікацією. Дослідник (Пилявець, 2018) визнає, що м'ясопереробна галузь України не орієнтується на вітчизняне тваринництво як основного постачальника якісної сировини, а відносини між сільськогосподарськими підприємствами і м'ясопереробниками характеризуються розбалансованістю як у забезпеченні сировини, так і у формуванні взаємовигідної ціни.

Дослідники значного сегмента готової м'ясної продукції — ринку ковбасних виробів (Наумова & Антонова, 2011) стверджують, що вітчизняний ринок ковбасних виробів практично досяг свого насичення, а основними факторами, що визначають вибір ковбасної продукції покупцями, є висока якість, безпека продукції, відомий (улюблений) бренд. Вчені (Шубіна & Доманова, 2018) як основну рису ринку ковбасних виробів визначають орієнтацію на українського виробника і споживача.

Вітчизняні вчені (Давидова & Зозульов, 2021) зосередили увагу на новому напрямку ковбасного виробництва — вироби з індички, й дійшли висновку, що ринок ковбасних виробів з індички зростає, хоча ковбасні вироби з індички ще не популярні серед населення. Дослідниця (Куліш, 2019) в обґрунтуванні розвитку діяльності вітчизняних підприємств на ринку ковбасних виробів запропонувала альтернативу розвитку — виробництво натуральної дитячої ковбаси. Статистичний аналіз споживання м'яса та м'ясопродуктів здійснено вченим (Сегада, 2020), який визначив цільність і напрям зв'язку між споживанням і факторами, що його обумовлюють: рівень виробництва, обсяг імпорту, рівень цін (індекс споживчих цін на м'ясо та м'ясопродукти), доходи населення країни (рівень заробітної плати, що визначена в доларах США), частка споживчих витрат на продовольчі товари.

Вітчизняні дослідники (Варченко, Свиноус & Липкань) зазначають, що кількісна та якісна характеристики споживчого попиту зумовлені впливом низки взаємопов'язаних факторів, що разом утворюють складну систему. Специфічною особливістю одних факторів є те, що вони спричиняють зміну як обсягу, так і структури попиту, а інших — те, що вони, не змінюючи обсягів попиту, зумовлюють структурні зміни.

Вітчизняні вчені визначають, що м'ясопереробні підприємства зможуть розвиватися лише за умов, якщо буде компетентно досліджено структуру, попит і перспективи ринку. Проте особливості попиту та споживання ковбасної продукції вивчені недостатньо, що й обумовило актуальність нашого дослідження.

Метою статті є удосконалення методики прогнозування обсягу попиту для окремих сегментів ковбасних виробів на основі поєднання класичної та модифікованої методик прогнозування попиту із застосуванням множинної регресії та визначення найбільш впливових факторів, які визначають попит на окремому сегменті ринку ковбасних виробів.

Матеріали і методи. У процесі дослідження використано такі методи: абстрактно-логічний — для формулювання висновків; монографічний — при деталізації виробництва ковбасних виробів за видами; порівняльного аналізу і

рядів динаміки — для порівняння показників та виявлення тенденцій їх зміни у часі; статистичний — при аналізі місткості ринку ковбасних виробів; економіко-математичні — при визначенні зв'язку між результативними і факторними ознаками, а також для визначення впливу окремих незалежних змінних. Серед економіко-математичних методів добре зарекомендували себе на практиці моделі множинної регресії та моделі дифузії (Bass Frenk, 2004).

Побудова багатофакторних регресійних моделей починається з вибору всіх можливих факторів, які впливають на показник (або процес), що досліджується. Для кожного фактора потрібно визначити його числові характеристики. Потім необхідно визначитися з виглядом регресійної чи багатофакторної моделі, тобто знайти аналітичний вираз, який найкраще відображає зв'язок факторних ознак з результативною, — вибір функції:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n), \quad (1)$$

де Y — результативна ознака-функція; $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ — факторні ознаки.

На практиці рівняння множинної регресії подають у лінійному вигляді:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_n X_{in} + \varepsilon_i, \quad (2)$$

де Y — залежна змінна; $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ — незалежні змінні (або фактори); $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ — параметри моделі (константи), які потрібно оцінити; ε_i — випадкова помилка змінної Y в i -му спостереженні.

Зважаючи на нелінійність економічних процесів, логічним є побудова багатофакторної економіко-математичної моделі з використанням нелінійних функцій. Альтернативою лінійній множинній регресії є степенева множинна регресія, рівняння якої має вигляд:

$$Y = a_0 X_1^{a_1} X_2^{a_2} X_3^{a_3} \dots X_m^{a_m}, \quad (3)$$

де Y — результуюча ознака; $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ — факторні ознаки кількістю від 1 до m ; a_1, a_2, a_m — коефіцієнти регресії або параметри рівняння при факторних ознаках, або ж коефіцієнти еластичності результуючої ознаки за відповідною факторною ознакою, що показують вплив 1-відсоткового зростання відповідної факторної ознаки, на відсоток зміни результуючої ознаки; a_0 — константа (значення результуючої ознаки, коли всі параметри рівняння дорівнюють 0).

Сучасні програмні продукти дають змогу використовувати повний набір регресорів. Програма залишає тільки ті регресори, довірчі інтервали яких не містять нулів, тобто коефіцієнт регресії не дорівнює нулю. При моделюванні взаємозв'язків на динамічних рядах широко використовуються відносні величини, передусім індекси. Це пояснюється більшою їх сталістю в часі порівняно з абсолютними величинами.

Окрім того, з'являється можливість зменшити колінеарність та автокореляцію залишків, оскільки застосування моделі множинної регресії пов'язане з вельми важливою проблемою — можливою колінеарністю пояснюючих змінних, тож постає питання її оцінки. Визначити колінеарність можна, обчисливши коефіцієнт інфляції для кожної змінної за формулою, що запропонована колективом дослідників (Левин, Стефан, Кребіль & Беренсон, 2004).

$$VIF_j = \frac{1}{1 - R_j^2}, \quad (4)$$

де VIF_j — коефіцієнт інфляції; R^2 — коефіцієнт множинної змішаної кореляції пояснюючої змінної X_j з усіма іншими пояснюючими змінними.

Якщо пояснюючі змінні не корелюють між собою, коефіцієнт інфляції рівний 1. Якщо пояснюючі змінні сильно корельовано, коефіцієнт інфляції може бути більше 10, тому для вирішення проблеми колінеарності слід виключати з регресійної моделі такі пояснюючі змінні.

Нині застосовуються дві методики прогнозування обсягу попиту:

- класична методика — прогнозування обсягу попиту з урахуванням доходу і ціни, яка представлена науковими працями багатьох відомих економістів, що займалися теоретичними проблемами попиту (Вехи экономической мысли, Т.1, 1999). Основні питання, що знаходилися в центрі їх уваги, — це аналіз поведінки споживача, дослідження чинників, що впливають на попит, зокрема, ціна і дохід;

- модифікована методика — адаптація класичного підходу до сучасного складного процесу формування попиту. Такий підхід базується на нових концепціях формування попиту, відповідно до яких ефективно прогнозування обсягу попиту неможливе без урахування цілого комплексу взаємопов'язаних чинників, і визначається як специфікою галузевого виробництва, так і особливостями поведінки покупця в сучасних умовах, що досліджено вченими (Nopton & Bass, 1987; Fisher & Pry, 1971).

Поєднання класичної та модифікованої методик стає можливим за умов застосування методу вибору якнайкращої підмножини з використанням програми PHStat. За допомогою цього комп'ютерного продукту можна оцінити допустимі регресивні моделі для заданого набору даних або визначити якнайкращі підмножини моделей для заданої кількості незалежних змінних. При оцінці багатьох альтернативних регресійних моделей завдання полягає в тому, щоб знайти моделі, для яких величина C_p (статистика Меллоуса) близька до $(k+1)$, або менша за нього (k — кількість незалежних змінних, включених в регресійну модель). Статистика C_p оцінює різницю між емпіричною і дійсною регресійною моделями:

$$C_p = \frac{(1 - R_k^2)(n - T)}{1 - R_T^2} - (n - 2(k + 1)), \quad (5)$$

де k — кількість незалежних змінних, включених у регресійну модель; T — загальна кількість параметрів, включених у повну модель регресії; R_T — коефіцієнт множинної змішаної кореляції у повній регресійній моделі, що містить всі T оцінюваних параметрів; R_k — коефіцієнт множинної змішаної кореляції у регресійній моделі, що містить до k незалежних змінних; n — кількість спостережень.

Викладення основних результатів дослідження. Ринок м'ясних продуктів є одним із найбільших вітчизняних ринків продовольчих товарів. В останні роки відбувається поступова зміна структури м'ясопереробки в напрямку нарощування виробництва готових видів продукції та напівфабрикатів і скорочення виробництва м'яса. Нарощування виробництва готових продуктів і напівфабрикатів викликане сучасними ринковими тенденціями та зміною стандартів споживання у значної частини населення, пов'язаних зі скороченням часу на приготування їжі.

В Україні ковбаси та подібні продукти з м'яса, субпродуктів м'ясних або крові поділяють на вироби ковбасні з печінки (ліверні) та подібні вироби і харчові продукти на їхній основі (крім готових продуктів та страв) і вироби ковбасні та подібні продукти з м'яса, субпродуктів чи крові тварин та подібні вироби і хар-

чові продукти на їхній основі (крім виробів ковбасних з печінки і готових продуктів та страв), що включає ковбаси варені, сосиски, сардельки; напівкопчені ковбаси; ковбаси варенокопчені, сиров'ялені, сирокіпчені (включаючи «салями»); вироби ковбасні з конини; вироби ковбасні копчено-запечені; вироби ковбасні інші.

Здійснений аналіз вітчизняного ринку ковбасних виробів вказує на те, що, починаючи з 1991 р. й по теперішній час спостерігаються часові лаги рецесії: 1991—2001 рр. (трансформація економічного укладу країни); 2009—2010 рр. (глобальна фінансова криза); 2014—2015 рр. (анексія Криму та окупація частини Донецької та Луганської обл.). Початок нової рецесії (2019 р.) — пандемія Covid-2019 і глобальна економічна криза (табл. 1).

Таблиця 1. Структура та ємність ринку ковбасних виробів у 1990—2019 рр.

Найменування продукції за НПП, одиниця вимірювання	Роки													
	1990	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014*	2015*	2016*	2017*	2018*	2019*	2019*
Вироби ковбасні та подібні продукти з м'яса, субпродуктів чи крові тварин, тис. т	900	175	309	281	292	294	287	260	229	233	247	248	237	236
Вироби ковбасні з м'яса варені та сосиски, тис. т	534	103	205	195	189	188	190	171	151	153	165	168	155	157
Ковбаси напівкопчені, тис. т	182	32	53	41	53	55	52	47	43	40	41	41	40	42
Ковбаси варенокопчені, напівсухі, сиров'ялені, сирокіпчені (включаючи «салями») тис. т	н.д.	н.д.	21	22	24	24	26	25	22	23	24	24	24	25
Вироби ковбасні копчено-запечені, тис. т	н.д.	н.д.	5	7	8	9	7	6	4	3	3	3	3	3

Примітка: *Дані наведено без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях. Складено автором за (Огляд ринку ковбасних виробів в Україні, 2020; Обсяг реалізованої промислової продукції (товарів, послуг) за видами економічної діяльності, 2020; Український ринок м'яса і ковбаси, 2019).

У сучасних умовах, коли вітчизняна економіка, як і економіка багатьох країн світу, знаходиться в стадії рецесії, для визначення місткості ринку ковбасних виробів визначальним є обсяг попиту, для прогнозування якого необхідно застосування класичної та модифікованої методик прогнозування обсягу попиту. Саме ці методики дають змогу за рахунок застосування багатофакторних моделей визначити загальний вплив декількох чинників на величину місткості ринку.

Підбір конкретних чинників для моделей регресії, що визначають значення місткості ринку, залежить від особливостей конкретного ринку (ринку ковбасних виробів). Він може здійснюватися за допомогою як аналізу парних коефіцієнтів кореляції, так і загального коефіцієнта детермінації, який характеризує ступінь адекватності рівняння регресії фактичним закономірностям зміни місткості ринку конкретної продукції.

Для нашого дослідження, окрім таких чинників, як середня ціна на вироби ковбасні з м'яса варені та сосиски і середньомісячна номінальна заробітна плата в досліджуваному році, ми пропонуємо ввести ще показник середньомісячної номінальної заробітної плати в попередньому році, рівень цін на товар-субститут (середня ціна на м'ясо птиці). Тривалість часового інтервалу 2010—2020 рр. Тісноту зв'язку визначаємо за допомогою кореляційного аналізу, який показав достатній зв'язок між обсягом споживання ковбасних виробів варених і середньою ціною на ковбасні вироби варені ($r = -0,78$), середньою ціною на м'ясо птиці ($r = 0,76$), середньомісячною номінальною заробітною платою в досліджуваному році ($r = -0,77$), а також середньомісячною номінальною заробітною платою в попередньому році ($r = -0,76$).

Для визначеного набору незалежних змінних, що включені в модель, будемо повну регресійну модель. Рівняння множинної регресії матиме вигляд:

$$Y = a_0 X_1^{a_1} X_2^{a_2} X_3^{a_3} X_4^{a_4}, \quad (6)$$

де Y , залежна змінна, — обсяг споживання виробів ковбасних з м'яса варених і сосисок; X_1 — середня ціна на вироби ковбасні з м'яса варені та сосиски; X_2 — середня ціна на м'ясо птиці; X_3 — середньомісячна номінальна заробітна плата в досліджуваному році; X_4 — середньомісячна номінальна заробітна плата в попередньому році; a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 — регресійні коефіцієнти.

За допомогою методу вибору якнайкращої підмножини (табл. 2) та за значеннями статистики (C_p), визначаємо якнайкращу модель.

Таблиця 2. Вибір якнайкращої моделі прогнозу обсягу споживання виробів ковбасних з м'яса варених і сосисок

Кількість змінних, що входять у модель	Значене C_p (статистика Меллоуса)	$k+1$ (k - кількість незалежних змінних, включених у регресійну модель)	Коефіцієнт детермінації	Стандартна помилка	Помилка Ерроу
1	2	3	4	5	6
X_1	795,0783325	2	0,493559401	0,392271281	0,12556061
$X_1 X_2$	147,5006359	3	0,905765201	0,858647802	0,060554974
$X_1 X_2 X_3$	129,8909922	4	0,918208992	0,836417984	0,065142784
$X_1 X_2 X_3 X_4$	5	5	0,99873085	0,99619255	0,009938381

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6
$X_1X_2X_4$	103,0138268	4	0,935264571	0,870529141	0,057954152
X_1X_3	795,6247978	3	0,494481778	0,241722667	0,140253134
$X_1X_3X_4$	794,3280253	4	0,496573827	-0,006852345	0,161614913
X_1X_4	796,5475561	3	0,493896219	0,240844328	0,140334341
X_2	518,3492212	2	0,669164791	0,602997749	0,101483403
X_2X_3	280,0130573	3	0,821676125	0,732514187	0,083300751
$X_2X_3X_4$	5,046452913	4	0,997432222	0,994864444	0,011542298
X_2X_4	172,7938031	3	0,889714788	0,834572183	0,065509277
X_3	1240,845282	2	0,210686816	0,05282418	0,15675227
X_3X_4	1125,762417	3	0,284984681	-0,072522978	0,166802226
X_4	1168,662975	2	0,256491907	0,107790289	0,152136006

Примітка: складено автором.

Серед наборів моделей, наведених в табл. 3, тільки одна задовольняє умову:

$$C_p \leq (k + 1)$$

Ця модель містить чотири змінні ($X_1 X_2 X_3 X_4$) та її значення статистики $C_p = 5$. Це надало можливість визначити рівняння множинної регресії:

$$Y = 1124,9 \cdot X_1^{-0,91} \cdot X_2^{1,05} \cdot X_3^{-0,23} \cdot X_4^{-0,11} \quad (7)$$

Повний аналіз обраної моделі, проведений за основними критеріями достовірності:

- коефіцієнт кореляції $r = 0,8160$, що вказує на сильний зв'язок між обраними факторами та результативною ознакою;

- коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,9033$ — це свідчить про те, що обсяг споживання виробів ковбасних з м'яса варених і сосисок на 90,33% залежить саме від обраних факторів і лише на 9,67% від інших факторів, що не включені в запропоновану модель;

- розрахований F -критерій для моделі становить 16,65 (табличне значення F -критерію при $df_1 = 4$ і $df_2 = 6$ степенях вільності і рівні значимості $p = 0,05$ дорівнює 4,53). Оскільки фактичне значення F -критерію більше табличного, то отримане рівняння регресії вважаємо статистично значимим з імовірністю 0,95;

- параметри отриманої моделі теж є значимі, оскільки табличне значення t -критерію Стюдента складає 2,262 і є меншим за t -критерій для кожного з параметрів.

Тобто запропонована модель множинної регресії може бути інструментом прогнозування обсягу споживання сегмента варених ковбасних виробів.

Від'ємне значення набутих регресійних коефіцієнтів a_3 і a_4 вказує на те, що при збільшенні середньомісячної номінальної заробітної плати на 1% у поточному році споживачі відмовлятимуться від купівлі виробів ковбасних з м'яса варених і сосисок на 0,23%, а збільшення середньомісячної номінальної заробітної плати на 1%, якщо порівняти з попереднім роком, призведе до зниження споживання цього продукту на 0,11%. З огляду на отримані результати і відповідно до теорії поведінки споживача (Блэкуэлл, Миниард & Энджел, 2007), цей сегмент

ковбасних виробів можна віднести до групи неповноцінних товарів. Збільшення середньої ціни на м'ясо птиці на 1% призведе до збільшення споживання виробів ковбасних з м'яса варених і сосисок 1,05%, оскільки ці продукти можна вважати товарами-субститутами. Збільшення середньої ціни у зазначеному сегменті ковбасних виробів призведе до зниження їх споживання на 0,91%.

Висновки

Отже, зважаючи на отримані результати розроблених прогнозних моделей, можемо стверджувати, що структура споживчого попиту та зміна його обсягу під впливом різних чинників у будь-який період часу віддзеркалює об'єктивно існуючі межі поведінки споживачів у розподіленні власних доходів на придбання того чи іншого сегмента ковбасних виробів. Також слід зазначити, що обмеженням прогнозування на основі парної регресії є умова стабільності або принаймні малої мінливості інших чинників і умов процесу, що вивчається. У сучасних реаліях прогнозування змін місткості ринку ковбасних виробів можливе лише за допомогою моделей множинної регресії. Одним із недоліків цих моделей є те, що їх побудова в сучасних умовах здійснюється на основі обмежених даних. Перспективою подальших досліджень може стати розробка адекватних прогнозних моделей обсягів попиту для інших сегментів ковбасних виробів.

Література

- Блэкуэлл, Р., Миниард, П. & Энджел, Дж. (2007). *Поведение потребителей*. СПб.: Питер.
- Варченко, О. М., Свиноус, І. В., Липкань, О. В. (2017). Особливості формування попиту на продовольство в сучасних умовах. *Актуальні проблеми економіки*, 1(187), 50—61.
- Вехи экономической мысли: В 3-х т. Теория потребительского поведения и спроса. Т.1. (1999). СПб.: Экономическая школа.
- Давидова, О. Б., Зозульов, О. В. (2021). *Сучасний стан ринку ковбасних виробів України: ключові тенденції та драйвери розвитку*. *Актуальні проблеми економіки та управління*. 15. <http://ape.fmm.kpi.ua/issue/view/13047>.
- Куліш, Т. В. (2019). Маркетингове дослідження діяльності ТОВ «Глобинський м'ясокомбінат» на ринку ковбасних виробів. Сучасні наукові дослідження на шляху до євроінтеграції: матеріали міжнародного науково-практичного форуму Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного. Мелітополь.
- Левин, Д. М., Стефан, Д., Кребель, Т. С. & Беренсон, М. Л. (2004). *Статистика для менеджеров с использованием Microsoft Excel*. Москва: Издательский дом «Вильямс».
- Наумова, Е. А., Антонова, А. І. (2011). Сучасний стан та перспективи розвитку ринку ковбасних виробів в Україні. *Бізнес Інформ*, 8, 194—197.
- Обсяг реалізованої промислової продукції (товарів, послуг) за видами економічної діяльності. Державна служба статистики України. (2020). <http://www.ukrstat.gov.ua>.
- Огляд ринку ковбасних виробів в Україні (2020). <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/obzor-rynka-kolbasnyh-izdelij-v-ukraine-2020-god>.
- Пилявець, О. В. (2018). Стан та перспективи розвитку ринку м'яса та м'ясопродуктів в Україні. Економічний розвиток: теорія, методологія, управління : матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Nemoros. Prague.
- Сегеда, С. А. (2020). Статистичний аналіз споживання м'яса та м'ясопродуктів в Україні. *Економіка АПК*, 3, 36—46.
- Страшинська, Л. В., Шеремет, О. О. (2021). Розвиток вітчизняного ринку м'яса та м'ясопродуктів: проблеми і пріоритети. *Наукові праці НУХТ*, 27, 3, 53—61.

Український ринок м'яса і ковбаси. (2019). <https://koloro.ua/ua/blog/issledovaniya/ukrainskiy-rynok-myasa-i-kolbasy-analiz.html>.

Шпичак, О. М., Боднар, О. В., Копитець, Н. Г. та ін. (2014). Ринок м'яса великої рогатої худоби. *Поточна кон'юнктура і прогноз ринків сільськогосподарської продукції та продовольства в Україні на 2014/2015 маркетинговий рік*. Київ: ННЦ ІАЕ, 21, 168–191.

Шубіна, Л. Ю, Доманова, О. В. (2018). Сучасний стан ринку варених ковбасних виробів. Підприємництво, торгівля: теоретичні підходи та практичні аспекти : матеріали I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції. Полтава : ПУЕТ.

Bass, F. M. (2004). Diffusion Model estimation using adaptive nonlinear least squares. Multiple Gneration Algoritm NL2SOL, Working Paper, Bass Economics. lenmoor Court, Frisco, Texas.

Fisher, J. C., Pry, R. H. (1971). A simple substitution model of technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 3, 75–88.

Nopton, J. A., Bass, F. M. (1987). A Diffusion Theory Model of Adaption and Substitution for Successive Generation of High Technology Products. *Management Science*. NY (USA), 33, 1068–1089.

CONFLICT MANAGEMENT METHODS IN THE ORGANIZATION

A. Yaremich

National University of Food Technologies

Key words:

Conflict
Conflict management
Organization
Methods
Behavioral styles

Article history:

Received 13.01.2022
Received in revised form
27.01.2022
Accepted 10.02.2022

Corresponding author:

A. Yaremich
E-mail:
penchuk562@gmail.com

ABSTRACT

The article is devoted to the study of conflict management methods in the organization. The importance of the role of conflicts in the life of an individual, family, team, organization is determined. The main reasons for conflict situations are described. It is noted that timely identification of the reasons for the conflict and its elimination in 99% leads to the avoidance of the conflict. Therefore, the main task of the leader is to identify and “enter” into organizational conflict in its initial stages. According to statistics, if the leader “enters” the conflict at the initial stage, he is resolved by 92%, if in the recovery phase — by 46%, in the “peak” phase, conflicts are almost unresolved or resolved very rarely. The essence of the concept of organizational conflict management as a set of different ways, methods and strategies (technologies) of conflict resolution and management, which occupies one of the main places in the personnel management system, is revealed. The algorithm of the conflict management system is determined. A number of methods of conflict management was isolated, which on the basis of the behavior of the conflicting parties can be divided into several groups: intra-personal; structural; interpersonal; talks; aggressive retaliation. Their content is revealed, description is given. The main focus is on the style of behavior of opponents in conflict situations. The role and components of organizational, socio-cultural and socio-psychological methods in conflict management of the organization were determined. Personal methods of conflict management were analyzed. Practical recommendations for conflict prevention in the organization, its prevention and mitigation are offered. The important role of the leader in solving conflict situations in the organization is emphasized. The skills which he must possess to successfully resolve conflicts are highlighted. It is noted that in practice, when resolving conflicts, any of the above methods of conflict management in the organization can be used. The approach to their elimination in each case is individual and depends on the circumstances. Some cases of conflict in organizations go beyond the possibilities of productive influence of the leader and require the participation of professional mediators (mediators).

МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ КОНФЛІКТАМИ В ОРГАНІЗАЦІЇ

Г. С. Яремич

Національний університет харчових технологій

Стаття присвячена дослідженню методів управління конфліктами в організації. Визначено важливість ролі конфліктів у житті окремої людини, сім'ї, колективу, організації. Охарактеризовано основні причини виникнення конфліктних ситуацій. Зазначено, що своєчасне виявлення причин конфлікту та усунення його у 99% призводить до уникнення конфлікту. Тому головне завдання керівника в тому, щоб виявити і «увійти» в організаційний конфлікт у його початковій стадії. Як свідчить статистика, якщо керівник «входить» у конфлікт на початковій стадії, він вирішується на 92%, якщо на фазі підйому — на 46%, на фазі «пік» конфлікти практично не вирішуються або вирішуються дуже рідко.

Розкрито сутність поняття управління організаційним конфліктом як сукупність різних способів, методів і стратегій (технологій) вирішення та регулювання конфліктів, що займає одне з головних місць у системі управління персоналом. Визначено алгоритм системи управління конфліктом. Виокремлено ряд методів управління конфліктами, які за ознакою поведінки конфліктуючих сторін можна розділити на кілька груп: внутрішньо особистісні, структурні, міжособистісні, переговори, агресивні дії у відповідь. Розкрито їх зміст, надано ґрунтовну характеристику. Основну увагу звернено на стилі поведінки опонентів у конфліктних ситуаціях. Визначено роль і складові організаційних, соціокультурних і соціально-психологічних методів в управлінні конфліктами організації. Проаналізовано персональні методи управління конфліктами. Запропоновано практичні рекомендації щодо запобігання конфлікту в організації, його профілактики та послаблення. Наголошено на важливій ролі керівника у вирішенні конфліктних ситуацій в організації. Виокремлено навички, якими він повинен володіти для успішного врегулювання конфліктів. Зазначено, що на практиці при вирішенні конфліктів можна використовувати будь-який із наведених методів управління конфліктами в організації. Підхід до їх усунення в кожному конкретному випадку індивідуальний, залежить від сформованих обставин. Зроблено висновок, що окремі випадки конфліктних відносин в організаціях виходять за межі можливостей продуктивного впливу керівника та вимагають участі професійних посередників (медіаторів).

Ключові слова: конфлікт, управління конфліктами, організація, методи, стилі поведінки.

Постановка проблеми. Можна з упевненістю сказати, що у відносинах людей уникнути суперечностей практично неможливо. Особливо збільшується ризик виникнення конфлікту на робочому місці, адже в організаціях контактують безліч людей, які, у свою чергу, стикаються з багатьма проблемами. Конфлікти, зазвичай, негативно впливають на мікроклімат колективу, а деякі з них можуть нести серйозні загрози як здоров'ю працівників, так і «здоров'ю» організації.

Для того, щоб уникнути таких серйозних наслідків, необхідно вміти правильно вирішувати розбіжності, що виникають, вибирати правильні стратегії поведінки. Це допоможе не тільки знизити негативний вплив конфліктів на організацію, а й, у деяких випадках, досягти позитивних результатів. З іншого боку, конфлікти розкривають проблеми організації та допомагають виявити альтернативні способи їх вирішення (Щербаков, 2014).

Тому кожен успішний керівник повинен володіти методами управління конфліктами, зводячи до мінімуму їх негативний аспект, видобувати з них цінну інформацію та збільшувати ефективність роботи організації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання управління конфліктами в організації завжди було актуальним, а тому його постійно досліджують зарубіжні та вітчизняні вчені, серед яких варто відзначити: Дж. Голдсмита, А. Гуськова, О. Іванову, Н. Кабушкіна, К. Клока, Дж. Кроулі, Л. Лукічеву, А. Огаркова, К. Решетнікову, Т. Сазонову, В. Хавронюк, І. Шульженко та ін.

Незважаючи на різноплановість і глибину проведених досліджень, у вітчизняній науці недостатньо приділяється уваги визначенню методів управління конфліктами в умовах нестабільності та сучасних особливостей функціонування організацій, зокрема в умовах світової пандемії COVID-19 та зумовленої нею соціальної та економічної кризи (Сазонова та ін., 2020).

Метою статті є дослідження методів управління конфліктами в організації.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження стали наукові публікації українських і зарубіжних учених, публікації періодичних і спеціалізованих українських та інших світових видань, офіційні ресурси глобальної інформаційної мережі Інтернет. Дослідження ґрунтуються на діалектичному підході до вивчення управління конфліктами в організації. Для досягнення мети використано загальнонаукові та спеціальні методи пізнання. При дослідженні методів управління конфліктами використані системний підхід, а також методи індукції і дедукції, аналіз і синтез.

Викладення основних результатів досліджень. Під конфліктом розуміється зіткнення протилежно спрямованих тенденцій у психіці окремої людини, у взаєминах людей, їх формальних і неформальних об'єднаннях, обумовлених різницею поглядів, позицій та інтересів (Кожевников, 2021).

З одного боку, конфлікти свідчать про наявність певної проблеми. Це вже позитивно позначається на організації, адже керівництво, не знаючи про її існування, певна річ, нездатне її вирішити. Ба більше, відразу виділяється, як мінімум, два шляхи вирішення проблеми. При правильному, успішному вирішенні конфлікту організація зможе збільшити ефективність виробництва, використавши при цьому підхід, думку однієї із сторін. Наприклад, це може бути інноваційна ідея, яку запропонував працівник, але сформований колектив, який, зазвичай, мислить консервативно, її не приймав. Якщо розглянути внутрішню особистісну складову конфлікту, то він може допомогти людині самотвердитися, домогтися поваги з боку колег, керівництва, що також позитивно позначиться на ефективності роботи колективу.

З іншого боку, не завжди вдається вдало та вчасно вирішити конфліктну ситуацію. Причиною цього, зазвичай, є недосвідченість керівника, менеджерів, відсутність базових знань у сфері психології, нерозуміння причин виникнення конфлікту, незнання теорії вирішення конфліктів, що негативно позначається на ефективності їх ліквідації, а отже, і ефективності роботи організації. Також часто трапляється, що конфлікт вибудовується виключно на ґрунті особистої неприязні двох сторін. Важливо стежити за атмосферою в колективі, щоб вчасно запобігти такому конфлікту. Тож більшість конфліктів несуть у собі як руйнівні, так і позитивні наслідки (Щербаков, 2014).

Основними причинами виникнення конфліктів в організації є:

- обмеженість ресурсів і методи їх розподілу. Діяльність будь-якої організації відбувається за умов обмеженості ресурсів. Тому керівник має раціонально розподілити сировину, матеріали, фінансові засоби, людські ресурси та забезпечити найвищий рівень їх ефективного використання. Це майже завжди призводить до конфліктних ситуацій, тому що кожна група співробітників висуває свої вимоги до рівня забезпеченості і рідко погоджується з тим, що на певний момент можливі лише такі, а не інші варіанти розподілу;

- необхідність спільного розв'язання завдань. При сумісному розв'язанні завдань несумлінна чи неякісна робота однієї людини чи групи співробітників може негативно позначитися на загальному результаті. Існуюча взаємозалежність також часто стає причиною конфліктних ситуацій;

- різні цілі. У цьому випадку конфлікти виникають через розбіжності цілей окремих підрозділів із цілями підприємства. Така ситуація притаманна організаціям із розгалуженою структурою, яка має спеціалізовані відділи;

- погано налагоджені комунікації. Спровокувати конфлікт можуть неякісні комунікації. У певних випадках працівники починають відстоювати свою точку зору через неадекватну оцінку ситуації та небажання враховувати думку інших людей. Такі конфлікти свідчать про недоліки в системі управління кадрами. Найчастіше причиною подібної поведінки є недостатньо добре доведена керівником інформація про стан проблеми чи невміння конкретно пояснити працівникові його посадові обов'язки;

- особливості поведінки, життєвий досвід і рівень освіти. Учасниками конфлікту найчастіше стають люди, які мають такі особистісні якості, як емоційна неврівноваженість, впертість, егоцентризм. Вони байдужі до чужої думки і віддають перевагу авторитарному стилю спілкування. Так, конфліктна ситуація може виникнути через наявність в організації різновікових людей з життєвими цінностями і рівнем освіти, які по-різному сприймають моду, музику, норми соціальної поведінки тощо.

Результат вирішення конфлікту переважно залежить від того, наскільки ефективно ним управляє менеджер. Тому слід знати не тільки причину, але й типи конфліктів (рис. 1) (Іванова & Суртаева, 2016).

Загалом, процес управління організаційним конфліктом — це сукупність різних способів, методів і стратегій (технологій) вирішення та регулювання конфліктів, що займає одне з головних місць у системі управління персоналом.

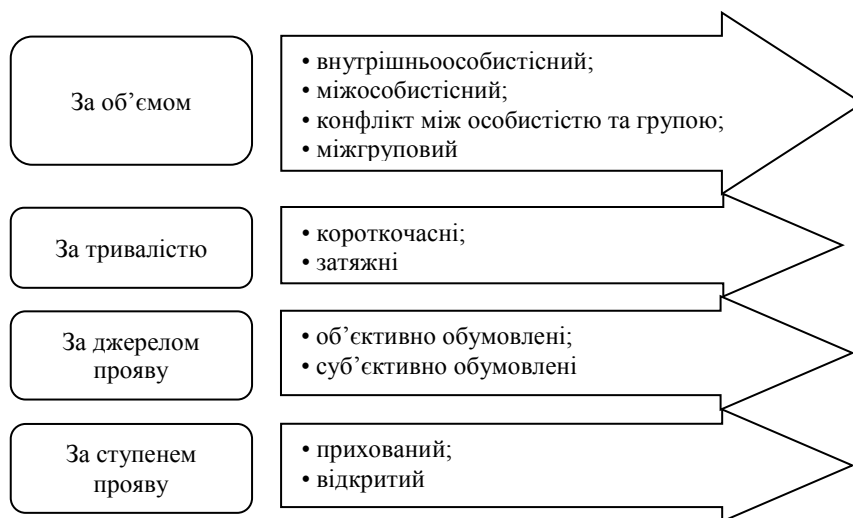


Рис. 1. Типи конфліктів в організації

Будь-яка система управління конфліктом в організації може бути представлена у вигляді схеми (рис. 2).

Ефективність управління персоналом буде високою, якщо управління конфліктами здійснюватиметься на ранніх стадіях зародження суперечностей (Светлов & Семенов, 2017). Своєчасне виявлення причин конфлікту та усунення його у 99% призводить до уникнення конфлікту. Тому головне завдання керівника в тому, щоб виявити і «увійти» в організаційний конфлікт на його початковій стадії. Як свідчить статистика, якщо керівник «входить» у конфлікт на початковій стадії, він вирішується на 92%, якщо на фазі підйому — на 46%, на фазі «пік» конфлікти практично не вирішуються або вирішуються дуже рідко.

Тому головне завдання керівника не боятися конфліктів, а розрізняти конструктивні та деструктивні конфлікти. При правильному управлінні конфлікт є відправною точкою побудови ефективного робочого процесу, стимулом для творчої активності персоналу.

Сьогодні існує ряд методів управління конфліктами, які за ознакою поведінки конфлікуючих сторін можна розділити на кілька груп:

- внутрішньо особистісні;
- структурні;
- міжособистісні;
- переговори;
- агресивні дії у відповідь (Кабушкин, 2006).

Внутрішньо особистісні методи впливають на окрему особистість і полягають у правильній організації своєї власної поведінки, в умінні висловити свою точку зору, не викликаючи захисної реакції з боку опонента.

Структурні методи пов'язані з використанням трансформації організаційної структури підприємства для усунення невирішених проблемних ситуацій (Кроули, 2015). Мета таких методів — зниження інтенсивності та недопущення ескалації спору.



Рис. 2. Система управління конфліктами в організації

До структурних методів усунення конфліктів відносять:

- використання керівником свого службового становища (наприклад, видання наказів, розпоряджень тощо);
- ротацію кадрів;
- зміну системи поінформованості працівників;
- зниження мережевої мобільності працівників;
- створення певного запасу в роботі взаємозалежних підрозділів (наприклад, підтримання необхідного запасу сировини та матеріалів);
- запровадження системи мотивації та показників результативності співробітників;
- розвиток процесу делегування повноважень;
- призначення для конфліктуючих сторін куратора або координатора («посередник», спеціаліст-конфліктолог, який намагається примирити опонентів);
- зміну рангів опонентів (наприклад, підвищення одного з опонентів на посади);
- злиття підрозділів і наділення їх спільним завданням (наприклад, може бути прийнято рішення про об'єднання відділу бухгалтерського обліку та відділу кадрів в одну загальну службу управління людськими ресурсами);
- зміну «навантаження» на співробітників;
- проведення профілактичних заходів, спрямованих на запобігання конфліктам (роз'яснювальна робота, координація та інтеграція діяльності, встановлення спільних цілей, винагорода персоналу) (Лукичева, 2008).

Третя група методів подолання конфліктів лежить у площині міжособистісних відносин і представлена п'ятьма основними стилями:

- Уникнення (ухилення). Співробітник «стоїть» осторонь конфлікту, не надає йому значення і кооперується з іншими співробітниками, бере на себе відповідальність за вирішення конфлікту. За використання цього стилю в конфлікті програють обидві сторони. Спроба не помічати, заглушати конфлікти без реальної

зміни обстановки може призвести до наслідків. У кращому разі збережеться видимість добрих стосунків, але, по суті, вони залишаться напруженими, бо проблема «заганяється всередину» і викликає ще більшу незадоволеність сторін.

- Суперництво (примус), вирішення конфлікту силою. Це прагнення змусити прийняти свою позицію як вірну. Думка інших людей цілком ігнорується. Людина, яка віддає перевагу такому підходу до конструктивного діалогу, поводить себе агресивно на підставі того, що наділена відповідними владними повноваженнями чи має фізичні переваги.

- Компроміс (примирення). Передбачає помірний облік інтересів кожної із сторін, що влаштовує більшою чи меншою мірою всі сторони, які беруть участь у прийнятті рішення, і чий інтерес воно торкається, а звідси й потреба йти на певні поступки. Як правило, стиль компромісу призводить до досить швидкого вирішення конфлікту, особливо у випадках, коли одна із сторін має явну перевагу. Його недолік полягає в тому, що проблема залишається не до кінця вирішеною, оскільки рішення приймається «половинчате».

- Пристосування (згладжування). Одній із сторін конфлікту необхідно принести в жертву власні інтереси та увійти у становище іншої. Для цього стилю характерне прагнення співпрацювати з іншими без внесення своїх пропозицій і побажань. Учасники конфлікту вважають за краще зберегти нормальні відносини замість того, щоб їх загострювати.

Цей стиль застосовується, якщо важливо зробити крок у бік стабільності, коли те, що трапилося, не особливо хвилює людину, або вона усвідомлює свою непраоту.

- Співпраця (інтеграція). Характеризується високим ступенем особистої залученості до конфлікту, сильним бажанням кооперувати свої зусилля з іншими задля досягнення консенсусу. При цьому підході результатом конфлікту є максимальне задоволення потреб усіх зацікавлених сторін. Вони виявляють довіру та відкритість, визнають право всіх учасників конфлікту на певну точку зору, створюють атмосферу рівноправного обміну думками, гласно та доказово розкривають свої позиції, прагнуть вирішити проблему «мирним шляхом». З опонентів вони перетворюються на партнерів та беруть на себе зобов'язання в рамках спільного рішення.

Цей стиль вимагає високої особистої культури, добре розвинуеного вміння слухати співрозмовника, вміння викладати думки, стримувати емоції (Огарков, 2006).

Багато дослідників найбільш оптимальним методом для вирішення протистоянь у колективі вважають переговори та медіацію (Гуськов, 2013).

Переговори — це набір тактичних прийомів, направлених на пошук взаємоприйнятних рішень для сторін конфлікту. У переговорах повинні брати участь усі сторони конфліктної ситуації.

Медіація — це метод взаємовигідного вирішення конфлікту за сприяння третьої незацікавленої та незалежної сторони. Медіатор намагається знайти взаємовигідне вирішення питання, що задовольнить усіх учасників суперечки, намагається примирити опонентів ті досягти консенсусу, а не з'ясовувати, хто має рацію, а хто — винен.

Агресивні дії учасників конфлікту у відповідь. Це найбільш грубі методи подолання конфліктних ситуацій, які передбачають використання сили у найжорсткіших її проявах — фізичний вплив на опонентів, насильство, залякування тощо.

Також управління процесами конфлікту можна здійснювати і за допомогою таких методів:

- організаційних;
- соціокультурних;
- соціально-психологічних.

При використанні організаційних методів керівник, користуючись своїми службовими повноваженнями, впливає на підрозділи та окремих співробітників з метою ослаблення конфліктних взаємодій. До основних організаційних способів вирішення протистоянь можна віднести такі заходи:

1. Створення всередині конфліктної групи підгруп з метою зниження згуртованості конфліктуючих сторін та ослаблення конфронтації.

2. Створення незалежних комісій з вирішення спірних ситуацій та схилення протидіючих сторін до примирення. Завдання незалежних комісій полягає в пошуку компромісного варіанта вирішення конфлікту та допомоги в проходженні критичної точки протистояння.

3. Ротацію кадрів. Заміна найбільш активних членів конфліктуючих груп є дуже дієвим способом (Степанов, 2014).

До соціологічних і культурних способів управління конфліктами відносяться такі заходи:

1. Зміна іміджу керівництва.
2. Створення чи коригування діючої системи цінностей для підприємства.
3. Переведення відносин односторонньої залежності у відносини взаємозалежності.
4. Задіяння лідера неформальної соціальної групи.
5. Розробка та запровадження нових норм, що змінять конфліктну ситуацію.
6. Зміна ставлення до діяльності (зміна функцій співробітників призводить до того, що вони відволікаються від конфліктних взаємодій).
7. Зміна правил внутрішньої системи комунікацій (Решетникова, 2013).

Соціально-психологічні методи управління конфліктами включають такі заходи:

1. Внесення поправок у систему мотивації конфліктуючих працівників.
2. Створення сприятливої психологічної атмосфери у колективі.
3. Маніпулятивний вплив на поведінку конфліктуючих працівників підприємства (Клок & Голдсмит, 2013).

Керівник також може активно протистояти конфліктним ситуаціям за допомогою використання персональних методів управління конфліктами:

1. Використання санкцій безпосередньо щодо учасників протистояння.
2. Зміна конфліктної мотивації працівників через адміністративні методи:
 - переведення одного з конфліктуючих співробітників до іншого підрозділу;
 - зміна характеру виконуваної роботи працівнику;
 - направлення спеціаліста, який «переріс» свою посаду, на курси підвищення кваліфікації (Гуськов, 2013).

3. Переконавання учасників конфлікту, проведення роз'яснювальної розмови з конфліктуючими сторонами.

4. Входження у конфлікт як експерта або арбітра та пошук згоди шляхом спільних переговорів тощо.

5. Зміна складу учасників конфлікту та системи їх взаємодії переміщенням людей усередині організації, звільнення.

У результаті застосування будь-якого з розглянутих вище методів керівником приймається рішення щодо виходу з конфлікту і оцінюється економічна доцільність обраного методу.

Безумовно, для організації економічно доцільніше займатися профілактикою конфліктів, ніж потім їх вирішенням. Основними способами профілактики конфліктів є:

1. Формування корпоративної культури в організації.

2. Створення та підтримання оптимальних умов праці, зокрема сприятливого психологічного клімату

3. Використання інституту наставництва.

4. Виявлення сумісності спеціалістів (психологічна оцінка кандидатів на етапах підбору та відбору персоналу).

5. Оптимізація організаційно-управлінських умов функціонування організації (розуміння організаційної структури, наявність посадових інструкцій, регламентів і стандартів, система мотивації та оцінка результатів діяльності працівників) (Клок & Голдсмит, 2013).

Якщо конфліктогени будуть виявлені та ліквідовані на стадії зародження, то у колективі складеться сприятлива психологічна атмосфера для продуктивної та ефективної роботи.

Висновки

Отже, конфлікт може виникнути у будь-якій організації, на будь-якому підприємстві і причин його виникнення, а також шляхів його усунення може бути декілька. Особливо важливим є вивчення конфліктів та методики їх вирішення для керівників, а це, у свою чергу, вимагає уважного ставлення керівника до порад спеціалістів. Він повинен розуміти, що для успішної діяльності в цій сфері йому потрібні певні навички:

- уміння керувати власними емоціями та коректно викладати свої претензії до співробітників;

- уміння зберігати витримку та спокій у найгостріших ситуаціях і не приймати поспішних рішень. Уникати напруження пристрастей і робити висновки тільки після того, як емоції вляжуться;

- застосовувати всебічний підхід до вирішення проблем. Бути здатним зрозуміти позицію опонента і приймати її до відома у процесі прийняття рішення;

- вміти розділяти суттєві та несуттєві складові конфлікту. Знаходити першочергові проблеми та переносити на них фокус уваги;

- не випускати ситуацію з-під контролю. Відчувати моменти, коли можна відстоювати свою позицію, а коли слід витримати паузу та дозволити опонентам озвучити свої претензії;

- демонструвати гнучкість у поведінці та оперативно реагувати на зміни ситуації. Бути готовим до несподіваних поворотів і вміти перебудовуватись по ходу процесу;

- знаходити вихід з будь-яких тупикових ситуацій і пропонувати варіанти їх вирішення;

- виявляти спостережливість і вміти оцінювати як поведінку учасників конфлікту, так і власний емоційний стан. Це підвищить ефективність управління конфліктом, і робота керівника не буде зведена нанівець через перевтому або неможливість стримати сильні емоції;

- передбачати можливі варіанти розвитку подій. Ґрунтуючись на логіці процесів, що відбуваються, оцінювати їх перспективність і уникати помилок, які можуть виникнути в результаті неправильного вибору лінії поведінки;

- вміло визначати інтенсивність дії. Відмовлятися від зайвого тиску або намагатися форсувати події залежно від ситуації;

- адекватне сприйняття наявних обставин і віру в успішний результат справи.

Професійно підготовлений керівник здатний «піднятися» над конфліктами та успішно керувати ними. Володіння арсеналом сучасних розробок посередницької діяльності дозволить йому успішно справлятися з міжособистісними ускладненнями, що виникають, підвищуючи таким чином свій авторитет і досягати успіху. На практиці при вирішенні конфліктів можна використовувати будь-який із наведених вище методів. Підхід до їх усунення у кожному конкретному випадку індивідуальний і залежить від сформованих обставин.

Зазначимо, що окремі випадки конфліктних відносин в організаціях виходять за межі можливостей продуктивного впливу керівника та вимагають участі професійних посередників (медіаторів).

Література

- Гуськов, А. Я. (2013). *Конфликтология: учебное пособие для бакалавров*. М.: Проспект.
- Иванова, О. А., & Суртаева, Н. Н. (2016). *Конфликтология в социальной работе: учебник и практикум для академического бакалавриата*. Люберцы: Юрайт.
- Кабушкин, Н. И. (2006). *Основы менеджмента: учеб. пособие*. М.: ИНФРА-М.
- Клок, К., & Голдсмит, Дж. (2013). *Конфликты на работе. Искусство преодоления разногласий*. М.: Претекст.
- Кожевников, М. В. (2021). Управление конфликтами. Взято з <https://files.scienceforum.ru/pdf/2017/31554.pdf>.
- Кроули, Дж. (2015). *Медиація для менеджерів. Розв'язання конфліктів і відновлення робочих відносин*. М.: Межрегиональный центр управленческого и политического консультирования.
- Лукичева, Л. И. (2008). *Управление персоналом: учеб. пособие*. М.: ИНФРА-М.
- Огарков, А. А. (2006). *Управление организацией: учеб. М.: Эксмо*.
- Решетникова, К. В. (2013). *Организационная конфликтология: уч. пособие*. М.: ИНФРА-М.
- Сазонова, Т. О., Шульженко, І. В., & Хавронюк В. Ю. (2020). Управління конфліктами як важливий елемент організаційної культури сучасної організації. *Інфраструктура ринку*, 47, 101—105.
- Светлов, В., & Семенов, В. (2017). *Конфликтология*. СПб: Питер.
- Степанов, Е. И. (2014). *Современная конфликтология: общие подходы к моделированию, мониторингу и менеджменту социальных конфликтов*. М.: ЛКИ.
- Щербаков, И. Д. (2014). Конфликты в организации, причины их возникновения и способы разрешения. *Экономика и менеджмент инновационных технологий*, 3(1). Взято з <https://ekonomika.snauka.ru/2014/03/4610>.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF SHORT-TERM MULTI-TERM FORECASTING OF ELECTRIC LOAD

P. Zinkevych, S. Baluta, Iu. Kuievda

National University of Food Technologies

Key words:

ANFIS

ARIMA

“Naive” predicting

Multi-step short-term PEL

Predicting methods

Article history:

Received 14.01.2022

Received in revised form
28.01.2022

Accepted 10.02.2022

Corresponding author:

S. Baluta

E-mail:

epem2011@ukr.net

ABSTRACT

Multi-step predicting of electrical load (PEL) allows to predict multi-stage electricity consumption in the future. Multi-step PEL is used to control power consumption and ensure energy-efficient modes of operation of power supply systems of industrial and civil facilities. This paper investigates mathematical models based on statistical methods and artificial intelligence methods for predicting the electrical load (PEL) of industrial enterprises for many steps forward.

A review of the literature sources showed that a relatively small number of statistical and artificial intelligence methods were developed for multi-step short-term PEL. The most promising PEL methods which provide the highest prediction accuracy are the following: autoregressive integrated moving average model (ARIMA) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). To compare the ARIMA and ANFIS methods, a statistical method was chosen: “naive” predicting. In order to select the PEL method which will solve the problems of power consumption and power supply management, calculation studies were conducted using these PEL methods. A feature of predicting using ANFIS is to take into account such an exogenous factor as time of day.

The object of the study are PEL methods, which were carried out on the basis of measured data of electrical load of an industrial enterprise for the manufacture of plastic products. Measurements were performed daily from April 1, 2015 to May 1, 2015 (including holidays and weekends) every half an hour (48 measurements per day, respectively). To assess the quality of predicting models, a standard value was used: standard error (RMSE) and average absolute error (MAPE). Calculation studies were performed using the software MATLAB 2020b, with a set of tools: Fuzzy Logic Toolbox and Econometrics Toolbox.

PEL models for multi-step PEL were developed using ARIMA methods, a “naive” predicting and an adaptive ANFIS system. The results of computational studies showed that the prediction using the ARIMA model (4,1,2) for the test sample provides the smallest error RMSE 0.052 and MAPE error 0.035. In further research it is planned to develop models for predicting electricity generation by photovoltaic power plants (PPP) with intelligent control systems.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОРОТКОСТРОКОВОГО БАГАТОКРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

П. О. Зінкевич, С. М. Балюта, Ю. В. Куєвда

Національний університет харчових технологій

Багатокрокове прогнозування електричного навантаження (ПЕН) дає змогу передбачити багатоступеневе споживання електроенергії в майбутньому. Багатокрокове ПЕН використовується для керування електроспоживанням і забезпечення енергоефективних режимів функціонування систем електрозабезпечення промислових і цивільних об'єктів.

У статті досліджено математичні моделі на основі статистичних методів і методів штучного інтелекту для прогнозування електричного навантаження (ПЕН) промислових підприємств на багато кроків уперед. Опрацювання літератури показало, що для багатокрокового короткострокового ПЕН розроблено відносно невелику кількість статистичних методів і методів штучного інтелекту. Найбільш перспективними методами ПЕН, які забезпечують точність прогнозування можна вважати такі: авторегресивна інтегрована модель ковзного середнього (ARIMA) та адаптивна система нейро-нечіткого висновку (ANFIS). Для порівняння методів ARIMA та ANFIS було вибрано статистичний метод: «наївний» прогноз. З метою вибору методу ПЕН, який найбільшою мірою забезпечить вирішення завдань керування електроспоживанням та електропостачанням, були проведені розрахункові дослідження з використанням вказаних методів ПЕН. Особливістю прогнозування з використанням ANFIS є врахування такого екзогенного фактора, як час доби.

Об'єктом дослідження є методи ПЕН, які проводилися на основі вимірних даних електричного навантаження промислового підприємства з виготовлення пластмасових виробів. Вимірювання проводилися щоденно з 01 квітня 2015 року по 01 травня 2015 року (з урахуванням святкових та вихідних днів) що пів години (відповідно 48 вимірювань на добу). Для оцінки якості моделей прогнозування використовувалися стандартні величини: середньоквадратична похибка (RMSE) та середня абсолютна похибка (MAPE). Розрахункові дослідження виконані у програмному середовищі MATLAB 2020b з набором інструментів: Fuzzy Logic Toolbox та Econometrics Toolbox.

З використанням методів ARIMA, «наївного» прогнозу та адаптивної системи ANFIS розроблені моделі ПЕН для багатокрокового ПЕН. Результати розрахункових досліджень показали, що прогнозування з використанням моделі ARIMA (4,1,2) для тестової вибірки забезпечує найменшу похибку RMSE — 0,052, похибка MAPE — 0,035. У подальших дослідженнях планується розробка моделей прогнозування вироблення електроенергії фотоелектростанціями (ФЕС) з інтелектуальними системами керування.

Ключові слова: ANFIS, ARIMA, «наївний» прогноз, багатокрокове короткострокове ПЕН, методи прогнозування.

Постановка проблеми. Короткострокове прогнозування навантаження (STLF) — один із найважливіших етапів ефективного управління електроспоживанням та електропостачанням промислових і цивільних об'єктів. Прогнозування можна розділити на дві категорії за кількістю кроків: однокрокове прогнозування та багатокрокове прогнозування. Однокрокове прогнозування передбачає використання історичних змінних, пов'язаних із споживанням електроенергії, для прогнозування наступного одноетапного кроку. Багатокрокове прогнозування передбачає майбутнє багатоетапне споживання електроенергії (Shao & Kim, 2020). На сьогодні більшість сучасних досліджень зосереджується лише на однокроковому прогнозуванні (STLF), а багатокрокове прогнозування потребує проведення додаткових досліджень. У цій статті розглядаються методи багатокрокового короткострокового ПЕН для промислових підприємств і цивільних об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для багатокрокового короткострокового ПЕН існує не такий широкий вибір статистичних методів і методів штучного інтелекту. На відміну від прогнозування на один крок вперед, завдання прогнозування на багато кроків вперед більш складні (An & Anh, 2015), оскільки при такому прогнозуванні мають справу з такими додатковими ускладненнями, як накопичення помилок, зниження точності прогнозу (Taieb, Bontempi, Atiya & Sorjamaa, 2012). У цьому розділі виконано короткий огляд дослідницьких праць з розробки методів багатокрокового ПЕН.

У (Tau, Muwafaq, Tiong & Chou, 2019) досліджено дані споживання електроенергії із січня 2009 року по грудень 2018 року. Мета дослідження полягала в тому, щоб виконати багатокрокове ПЕН на 2019 рік. Для цього був використаний метод ANFIS. Прогнозування з ANFIS дає MAPE між фактичним і прогнозованим споживанням електроенергії 0,402%, що набагато краще, ніж при використанні таких методів, як моделі часових рядів Холта-Вінтерса, множинної лінійної регресії MLR та нечітких часових рядів першого порядку FTS, які забезпечують MAPE, відповідно, 11,14%, 10,62% та 5,74%.

У (Jain, Quamer & Pamula, 2018) зроблено прогнозування споживання електроенергії за допомогою моделі ARIMA. Представлена модель забезпечує MAPE 6,63%. Тож модель ARIMA має потенціал конкурувати з існуючими методами ПЕН.

У дослідженні (Saravanan, Kannan & Thangaraj, 2015) запропоновано багатofакторну модель ПЕН з використанням таких вхідних змінних: чисельність населення, обсягів імпорту та експорту, валового внутрішнього продукту на душу населення (ВВП) та валового національного доходу на душу населення (ВНД) для Індії. Чотири різні моделі сформовані для різних комбінацій вищезгаданих п'яти вхідних змінних, також продемонстровано вплив вхідних змінних на оцінку попиту на електроенергію. Для навчання мережі використані дані за 29 років, для тестування мережі — за 9 років. Було передбачено майбутній попит на електроенергію протягом 8 років — з 2013 по 2020 рік. Застосування техніки ANFIS виявилось кращим з MAPE=0,92%, ніж множинна лінійна регресія (MLR) та штучна нейронна мережа (ANN).

У праці (Masum, Liu & Chiverton, 2018) представлені результати багатоетапного прогнозування часових рядів, яке виконано на трьох наборах даних нелінійних електричних навантажень, для Великої Британії (GB), Польщі (PL) та Італії (IT). Набори складаються з даних про електричне навантаження з 01.02.2010 по

31.01.2014. В цьому дослідженні порівнюються моделі ARIMA та довготривалої короткочасної пам'яті (LSTM) на основі рекурентної нейронної моделі мережі (RNN). Порівняльний аналіз прогнозування на 10 кроків вперед трьох моделей показує, що модель LSTM має кращу продуктивність RMSE: для GB, PL, IT, відповідно, 3765, 1922 та 4876, порівняно з моделлю ARIMA для багатокрокового прогнозування електричного навантаження 4587, 2461 та 6263.

Виконаний аналіз літературних джерел показав, що найбільш перспективними методами багатокрокового ПЕН, які забезпечують найбільшу точність прогнозування, є ARIMA та ANFIS, тому ці методи ПЕН були вибрані для подальших досліджень. Для порівняння методів використані методи ANFIS та ARIMA і найвний прогноз.

Мета статті: дослідження методів короткострокового багатокрокового ПЕН промислових і цивільних об'єктів для забезпечення задач керування електроспоживанням та електропостачанням цих об'єктів.

Матеріали і методи. Для порівняння методів багатокрокового короткострокового ПЕН було вибрано об'єкт дослідження — промислове підприємство з виготовлення пластмасових виробів. Дослідження проводилися з використанням програмного забезпечення MATLAB 2020b і таких пакетів: Fuzzy Logic Toolbox та Econometrics Toolbox. Для прогнозування використано півгодинні щоденні виміри (48 вимірів на добу) навантаження (у МВт · год) з 01.04.2015 по 01.05.2015 з урахуванням святкових і вихідних днів.

При проведенні дослідження з використанням ANFIS було враховано екзогенний фактор: «час доби». Для порівняння досліджувалися такі методи прогнозування:

1. Статистичні методи: «найвний» прогноз і моделі часового ряду Бокса-Дженкінса (ARIMA).

2. Метод штучного інтелекту: ANFIS. У пропонованому дослідженні використовуємо три різні методи генерації системи нечіткого висновку (GENFIS): розбиття мережі (Grid Partitioning), метод субтрактивної кластеризації (Subtractive Clustering) та кластеризація нечітких С-середніх (FCM Clustering).

Варто звернути увагу на різницю між методами GENFIS. Так, метод Grid Partition передбачає, що простір вхідних даних поділяється на прямокутний підпростір за допомогою розділу, паралельного осі; кожен вхід розбивається на функції належності однакової форми. Кількість нечітких правил if-then дорівнює M^n , де n — вхідний розмір, а M — кількість розділених нечітких підмножин для кожної вхідної змінної (Benmouiza & Clusered, 2018).

Метод Subtractive Clustering (субтрактивна кластеризація) генерує точно налаштовані кластери для кожної вхідної змінної. Для кожного кластера вхідних змінних створюється правило. Алгоритм субтрактивної кластеризації розглядає кожну точку даних для кандидата на центр кластера (Maddipati, Pradeepini & Yesubabu, 2018).

Метод кластеризації нечітких С-середніх — FCM Clustering (FCM), заснований на нечіткому наборі шляхом вдосконалення методу кластеризації С-середніх. Метод кластеризації FCM — це метод поділу розділеної конкретної області шляхом перерахування значень, що належать до даних кластера, відповідно до ступеня належності кожного елемента даних, що належить одному кластеру (Yeom & Kwak, 2018).

Метод оцінки результатів прогнозування. У цьому дослідженні для перевірки точності прогнозування використовуємо RMSE та MAPE (Aras, Kocakoc & Polat, 2017), які визначаються таким чином:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{t=1}^n \frac{(\hat{y}_t - y_t)^2}{n}}; \quad (1)$$

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right|, \quad (2)$$

де y_t — значення спостереження в момент часу t ; $\hat{y}_t$ — прогнозоване значення в момент часу t ; n — кількість точок даних у наборі.

Викладення основних результатів досліджень. У цьому розділі статті представлена поетапна побудова моделей багатокрокового короткострокового ПЕН для статистичних методів (ARIMA, «наївний» прогноз) та інтелектуальної системи керування (ANFIS) за допомогою MATLAB 2020b.

ПЕН за допомогою моделі ARIMA.

Процес моделювання ARIMA з використанням моделі Бокса-Дженкінса передбачає дев'ять етапів:

Етап 1. Завантаження даних. Аналіз динаміки часового ряду.

Нижче графічно представлена динаміка споживання промислового підприємства з виготовлення пластмасових виробів за період з 01.04.2015 по 01.05.2015 (рис. 1).

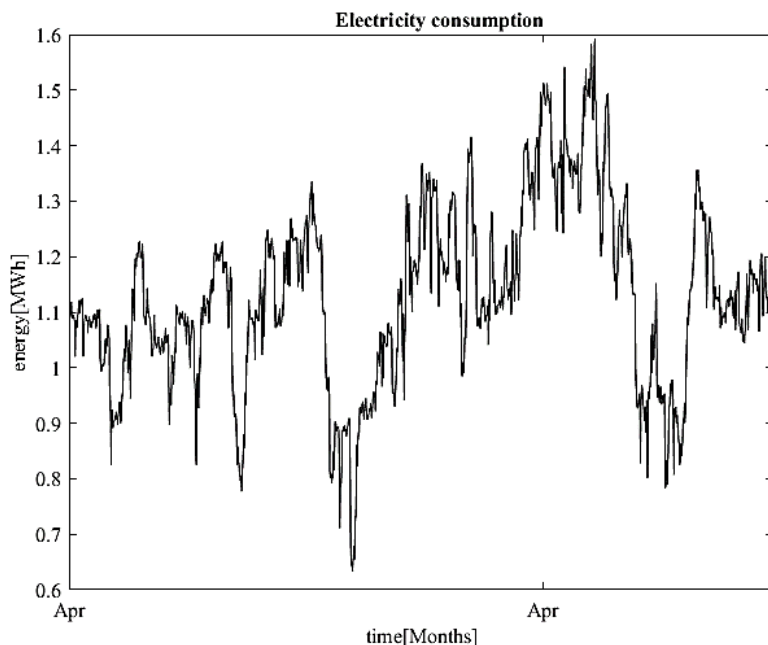


Рис. 1. Електричне навантаження промислового підприємства з 01.04.2015 по 01.05.2015

Етап 2. Визначення потенційних моделей, шляхом розгляду вибіркової автокореляційної (ACF) та частково автокореляційної (PACF) функцій для вимірюваних даних (рис. 2, 3).

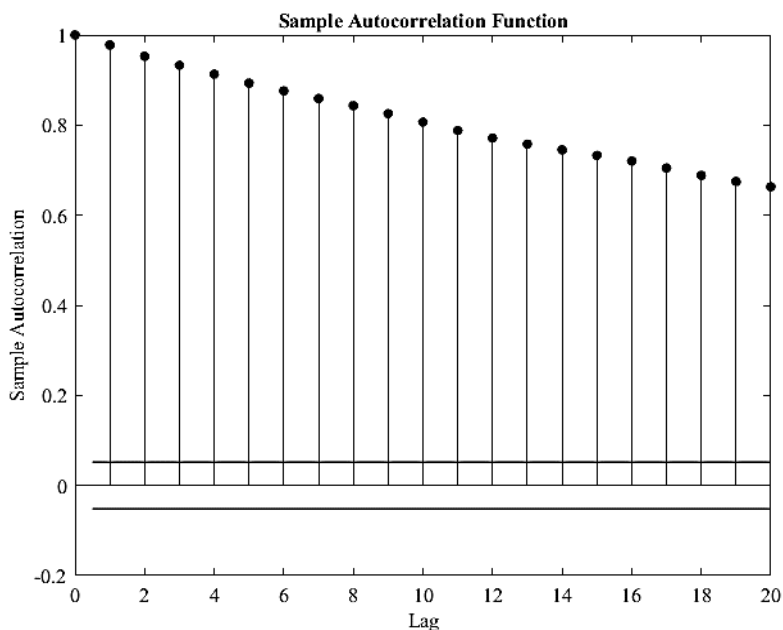


Рис. 2. Моделювання вибіркової автокореляції (ACF) даних

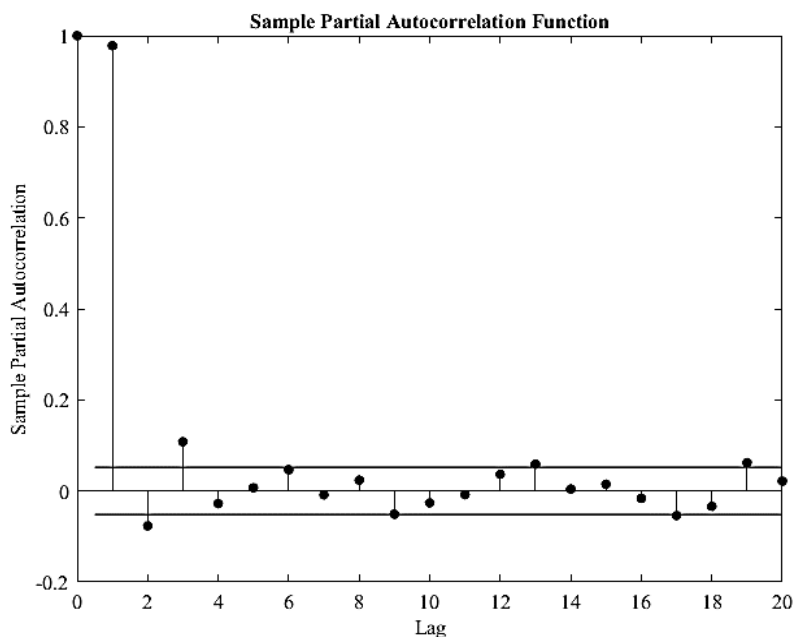


Рис. 3. Моделювання вибіркової часткової автокореляції (PACF) даних

Наявність значного лінійного спадання функції ACF, згідно з рис. 2, вказує на нестационарний процес.

Етап 3. Перехід до різниці даних і побудова різницевого ряду (рис. 4).

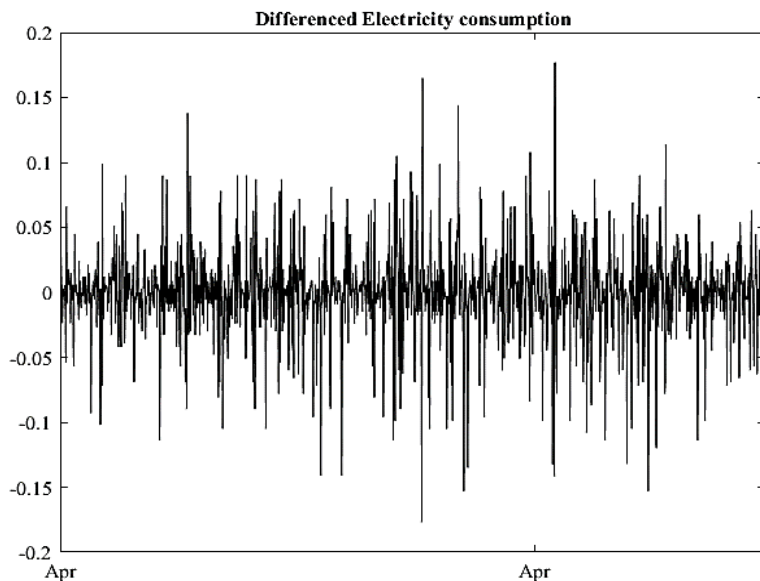


Рис. 4. Графік різницевого ряду

Етап 4. Визначення потенційних моделей шляхом розгляду виду ACF та PACF до різниці даних.

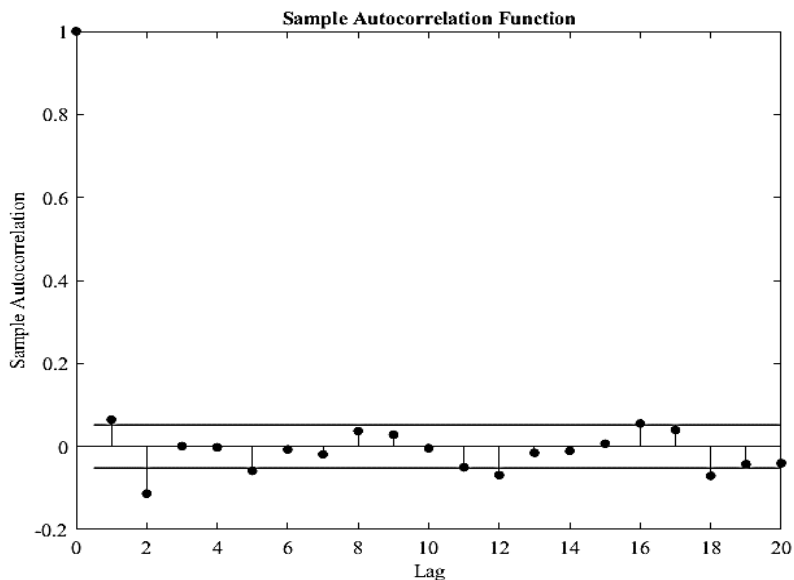


Рис. 5. Автокореляційна функція (ACF) до різниці даних

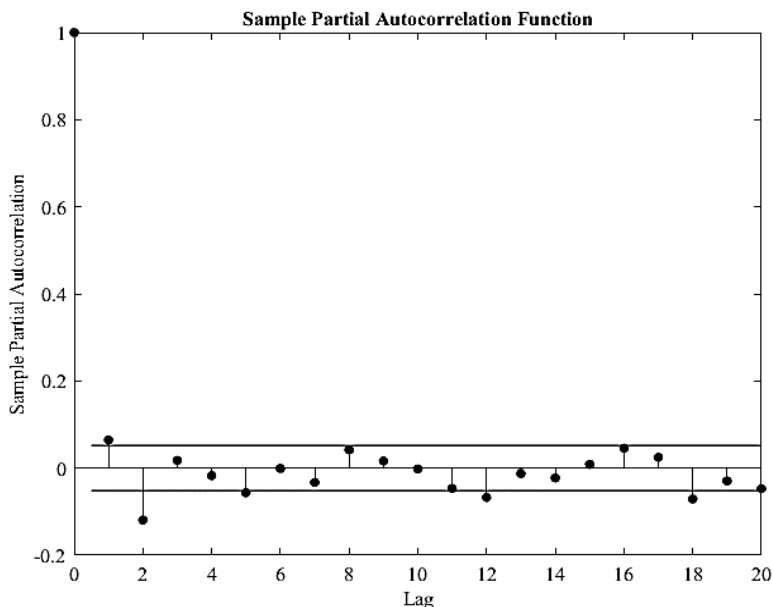


Рис. 6. Часткова автокореляційна функція (PACF) до різниці даних

Вибіркові ACF та PACF, наведені на рис. 5 і 6, відсікаються після двох кроків.

Етап 5. Визначення кількості разів диференціювання, тобто параметра D в моделі ARIMA (p, D, q) за стаціонарністю різниць даних певного порядку. Визначаємо стаціонарність різниці першого порядку на основі розширеного тесту Дікі-Фуллера: $h1 = \text{adftest}(y)$; $h = \text{adftest}(dY)$.

Якщо $h1 = 0$, а $h = 1$, тоді перша різниця даних є стаціонарною, тобто параметр D дорівнює 1.

Етап 6. Вибір найкращої моделі ARIMA (p, D, q).

На цьому етапі вибираємо найкращу модель, використовуючи критерій AIC та BIC.

Для цього вибираємо параметри: $\max_p = 5$; $\max_q = 5$.

Проведене моделювання дало змогу встановити, що найкращою моделлю є ARIMA (4, 1, 2). Після вибору найкращої моделі ARIMA дані вимірювань розділяють на навчальну і тестову вибірку. Навчальна вибірка була сформована для даних з 01.04.2015 по 30.04.2015, а тестова — для 01.05.2015. Модель ARIMA навчається на першій вибірці:

Model = ARIMA (4, 1, 2);

EstMdl = estimate(Model, X_train).

У результаті навчання моделі визначаємо параметри, які наведено в табл. 1.

Моделі ARIMA (4, 1, 2) відповідає таке рівняння:

$$(1 - \phi_1 L - \phi_2 L^2 - \phi_3 L^3 - \phi_4 L^4)(1 - L)y_t = c + (1 + \theta_1 L + \theta_2 L^2)\varepsilon_t. \quad (3)$$

Таблиця 1. Оцінка параметрів і діагностична перевірка методу ARIMA (4,1,2)

Параметри	Value	Standard Error	TStatistic	PValue
Constant	-2.3021e-05	0.00071349	0.032266	0.97426
AR{1}	1.1898	0.052726	22.565	9.5034e-113
AR{2}	-1.0765	0.056215	-19.149	9.8604e-82
AR{3}	0.2248	0.032947	6.8232	8.9065e-12
AR{4}	-0.15608	0.022079	-7.0691	1.5593e-12
MA{1}	-1.1244	0.052197	-21.542	6.2679e-103
MA{2}	0.88615	0.047773	18.549	8.2669e-77
Variance	0.0011643	2.6515e-05	43.91	0

Етап 7. Перевірка адекватності встановленої моделі ARIMA (4,1,2), ACF та PACF за властивостями залишків моделі відносно навчальної вибірки.

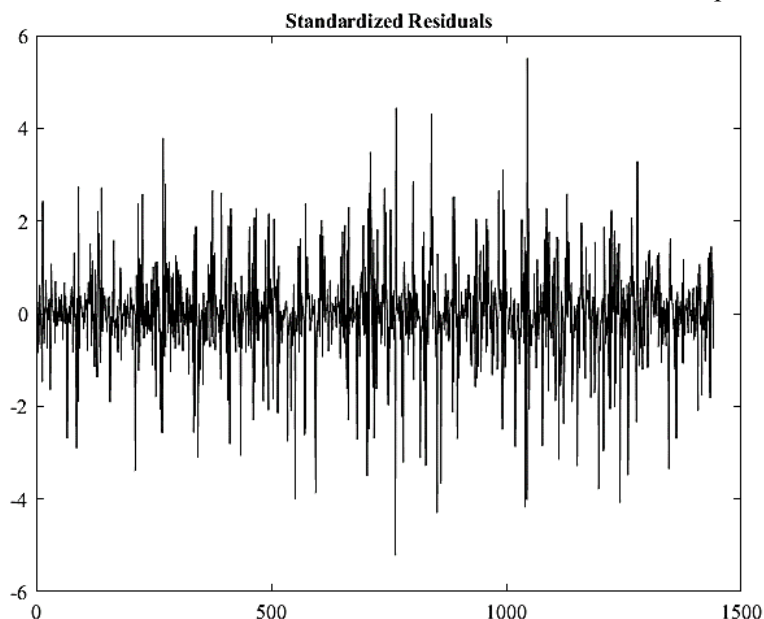


Рис. 7. Ділянка стандартизованих залишків моделі ARIMA (4,1,2)

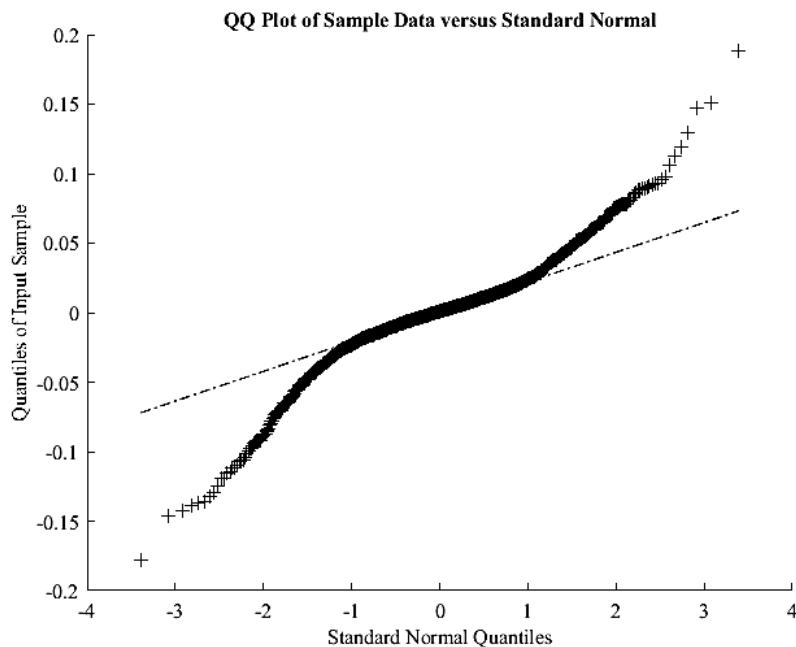


Рис. 8. Q-Q графік для визначення нормальності розподілу залишків моделі ARIMA (4,1,2)

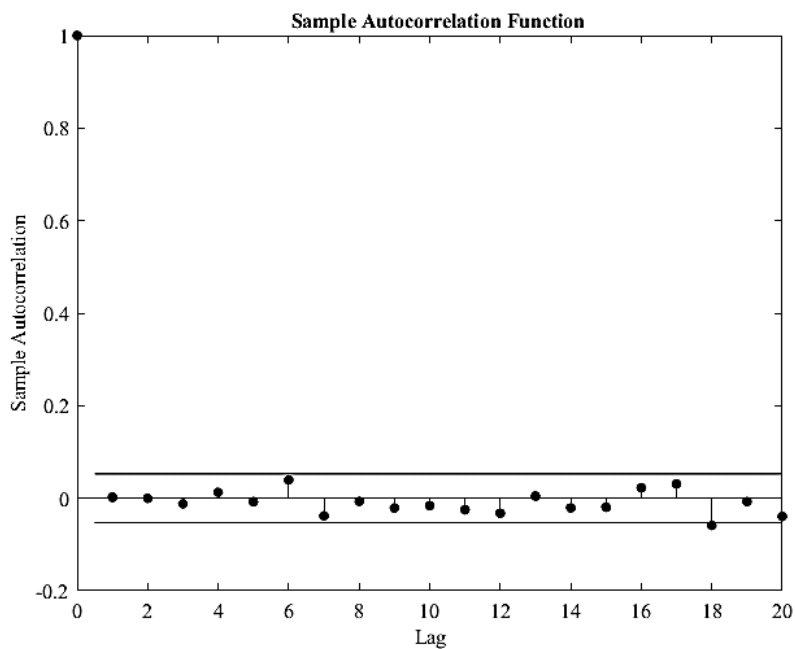


Рис. 9. Графік автокореляції (ACF) залишків моделі ARIMA (4,1,2)

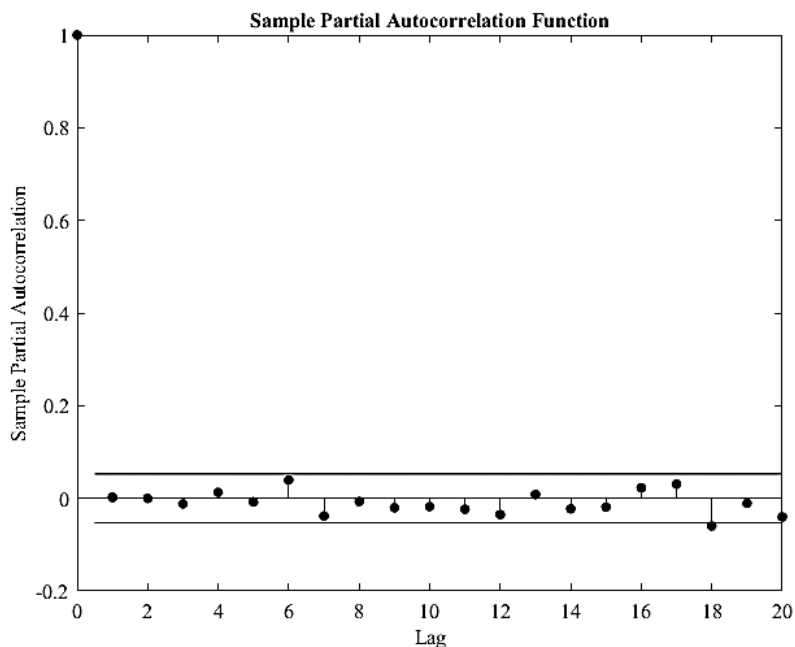


Рис. 10. Графік часткової автокореляції (PACF) залишків моделі ARIMA (4,1,2)

Як видно з рис. 7, 8, 9, 10, залишки нормально розподілені та некорельовані, тому модель адекватна для цієї вибірки.

Етап 8. Прогнозування результатів на основі даних. Окремо робиться прогноз для навчальної і тестової вибірки.

Для навчальної вибірки багатокрокове прогнозування проводиться за таким алгоритмом:

```
for i = 1:30
    x_for = EndTrainData-48*i+1:EndTrainData-48*(i-1);
    [YTrain1_for, YMSEf] = forecast(EstMdl, 48, X_train(1:EndTrainData-47*i));
    RMSEYTrain1_for(i) = sqrt(mean((YTrain1_for - X_train(x_for)).^2));
    lower1 = YTrain1_for - 1.96*sqrt(YMSEf);
    upper1 = YTrain1_for + 1.96*sqrt(YMSEf);
    plot(x_for, YTrain1_for, 'r', 'LineWidth', 2);
    plot(x_for, lower1, 'k--', 'LineWidth', 2);
    plot(x_for, upper1, 'k--', 'LineWidth', 2);
    % збираємо всі 48-точкові масиви в один
    YTrain1_for_all(x_for, 1) = YTrain1_for(:, 1);
end.
```

Виконання багатокрокового прогнозування для тестової вибірки проводиться за таким алгоритмом:

```
step=48;
x_for = EndTrainData+1:EndTrainData+step;
[yF1, YMSEf] = forecast(EstMdl, step, X_train)
```

Етап 9. Визначення похибок RMSE та MAPE для навчальної та тестової вибірки.

```
RMSETrain1 = sqrt(mean((X_train-YTrain1_for_all).^2))
mapeTrain1 = mean(abs((X_train - YTrain1_for_all)./X_train))
RMSEYTest1 = sqrt(mean((YTest1'-X_test).^2))
mapetest1 = mean(abs((X_test - yF1)./X_test)).
```

Таблиця 2. Результати прогнозування встановленої моделі ARIMA (4,1,2)

Моделі ARIMA	RMSE		MAPE	
	Train	Test	Train	Test
ARIMA(4,1,2)	0,1216	0,052	0,077	0,035

ПЕН за допомогою «наївного» прогнозу.

Процес моделювання за «наївним» прогнозом передбачає чотири етапи:

Етап 1. Завантаження даних:

```
y = Data(:,2);
T = length(y).
```

Етап 2. Розділення даних на навчальну і тестову вибірку. Навчальну вибірку розділяємо для даних з 01.04.2015 по 30.04.2015, а тестову — для даних на 01.05.2015.

Етап 3. «Наївне» прогнозування для навчальної та тестової вибірки даних. Для навчальної вибірки даних використовуємо алгоритм і нульову модель ARIMA (0,0,0):

```
Md1 = arima(0,0,0);
EstMod = estimate(Md1, y(EndTrainData));
YTrain48(1:3)=X_train(1:3);
figure
h8 = plot(y,'Color',[.5,.5,.5]);
hold on
dateStart48 = datestr(now, 'dd-mm-yyyy MM:ss')
for i = 1:30
x_for = EndTrainData-48*i+1:EndTrainData-48*(i-1);
[YTrain1_for,YMSEf] = forecast(EstMod,48,y(EndTrainData-47*i+1));
RMSEYTrain1_for(i) = sqrt(mean((YTrain1_for-X_train(x_for)).^2));
lower1 = YTrain1_for + 1.96*sqrt(YMSEf);
upper1 = YTrain1_for - 1.96*sqrt(YMSEf);
plot(x_for,YTrain1_for,'r','LineWidth',2);
plot(x_for,lower1,'k--','LineWidth',2);
plot(x_for,upper1,'k--','LineWidth',2);
YTrain1_for_all(x_for,1) = YTrain1_for(:,1);
end
dateEnd48 = datestr(now, 'dd-mm-yyyy MM:ss').
```

Для тестових даних необхідно використовувати нульову модель ARIMA (0,0,0). Для тестової вибірки даних використовуємо алгоритм:

```
Md1 = arima(0,0,0);
EstMod = estimate(Md1, y(EndTrainData));
```


$Y_{for1} = \text{forecast}(\text{EstMod}, \text{LenForecast}, y(X\text{Test}))$.

Етап 4. Визначення похибок RMSE та MAPE для навчальної та тестової вибірки.

$\text{RMSE}_{\text{train}} = \sqrt{\text{mean}((y(X\text{Train}) - Y_{for})^2)}$;

$\text{mape}_{\text{Train1}} = \text{mean}(\text{abs}(X_{\text{train}} - Y_{\text{Train1_for_all}}) / X_{\text{train}})$

$\text{RMSE}_{\text{Test}} = \sqrt{\text{mean}((y(X\text{Test}) - Y_{for1})^2)}$

$\text{mape}_{\text{Train1}} = \text{mean}(\text{abs}(y(X\text{Test}) - Y_{for1}) / (y(X\text{Test})))$.

Таблиця 3. Результати прогнозування встановленої моделі «наївного» прогнозу

Модель	RMSE		MAPE	
	Train	Test	Train	Test
«Наївний» прогноз	0,173	0,0597	0,1329	0,0418

ПЕН за допомогою ANFIS.

Процес моделювання ANFIS передбачає шість етапів:

Етап 1. Обробка вхідних даних. Модель має сім входів:

- година дня;
- навантаження попереднього дня, тобто на один крок назад ($t-1$);
- навантаження попереднього дня, тобто на два кроки назад ($t-2$);
- навантаження попереднього дня, тобто на три кроки назад ($t-3$);
- навантаження попереднього дня, тобто на чотири кроки назад ($t-4$);
- навантаження попереднього дня, тобто на п'ять кроки назад ($t-5$);
- навантаження попереднього дня, тобто на шість кроків назад ($t-6$).

Вихідними даними моделі є дані електричного навантаження з 01 квітня по 01 травня 2015 року. На рис. 11. показана блок-схема, де зазначено входи та виходи мережі ANFIS.

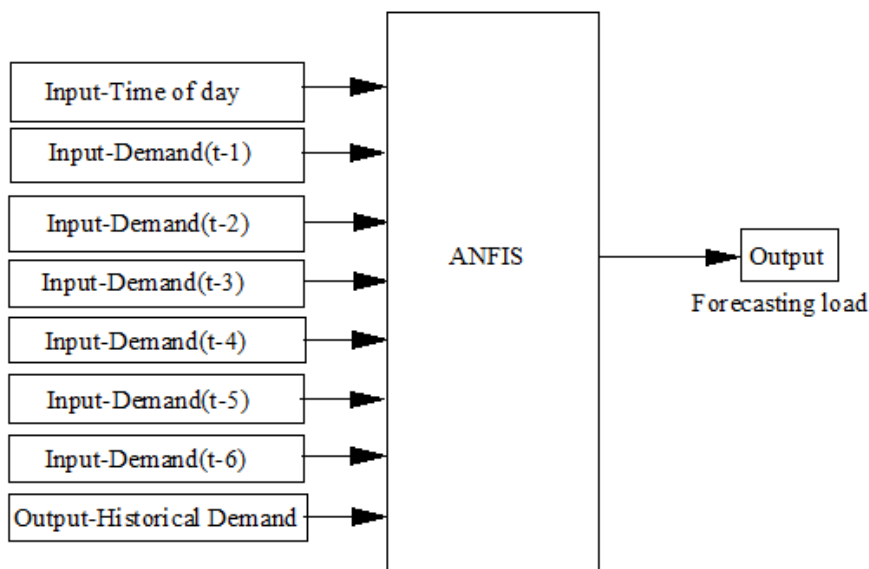


Рис. 11. Блок-схема з вхідними та вихідними даними для ANFIS

Алгоритм виконання.

timeDay = Data(:,1)

Demand6 = Data(:,2)

Demand5 = Data(:,3)

Demand4 = Data(:,4)

Demand3 = Data(:,5)

Demand2 = Data(:,6)

Demand1 = Data(:,7)

Inputs = [timeDay Demand6 Demand5 Demand4 Demand3 Demand2 Demand1]

Outputs = Data(:,8)

data = [Inputs Outputs].

Навчальні дані представлені у вигляді матриці 1488 x 8.

Етап 2. Розділення даних на навчальну і тестову вибірку. Дані навчальної вибірки з 01 квітня по 30 квітня 2015 року представляються у формі матриці 1440x8, а дані для тестування на 01 травня 2015 року — у формі матриці 48x8.

Етап 3. Встановлення параметрів методів FIS для навчальних даних. На цьому етапі використовуються моделі ANFIS: Grid Partitioning, Subtractive Clustering, FCM Clustering, які розраховують окремо для цього етапу (табл. 4).

Таблиця 4. Вхідні параметри функцій genfis

Модель genfis	Вхідні параметри
Grid partitioning opt1 = genfisOptions('GridPartition')	NumMembershipFunctions = [2]; InputMembershipFunctionType = ["trimf"] OutputMembershipFunctionType = ["linear"]
Subtractive Clustering opt1 = genfisOptions('SubtractiveClustering')	ClusterInfluenceRange = 0.38; DataScale = 'auto'; SquashFactor = 1.25; AcceptRatio = 0.3; RejectRatio = 0.15; Verbose = true
FCM Clustering opt1 = genfisOptions('FCMClustering', 'FISType', 'sugeno');	NumClusters = 65; Exponent = 3.0; MaxNumIteration = 100; MinImprovement = 1e-5; Verbose = true

Створення системи нечітких висновків (FIS). За замовчуванням структура FIS створюється з використанням розділу мережі вхідних і вихідних змінних, з використанням функції genfis:

fis1 = genfis(TrainInputs, TrainOutputs, opt1).

Етап 4. Структура навчання ANFIS. На цьому етапі навчаємо через 100 епох нашу модель fis, для моделей *Subtractive Clustering* та *FCM Clustering* вибираємо метод Backpropagation ANFIS, тобто OptimizationMethod=0, тоді для *Grid partitioning* вибираємо гібридний метод ANFIS, тобто в нашому випадку OptimizationMethod=1.

fis=anfis([TrainInputs TrainOutputs],...

`fis1,TrainOptions,DisplayOptions,[],OptimizationMethod).`

Етап 5. Прогнозування ПЕН FIS за використанням функції `evalfis`:

`TrainForecast=evalfis(fis,TrainInputs)`

`TestForecast=evalfis(fis,TestInputs).`

Етап 6. Визначення похибки RMSE для навчальної та тестової вибірки:

`RMSEYTrain1 = sqrt(mean((TrainOutputs-TrainForecast).^2))`

`mapeTrain1=mean(abs((TrainOutputs-TrainForecast)./TrainOutputs))`

`RMSEYTest1 = sqrt(mean((TestOutputs-TestForecast).^2))`

`mapeTest1 = mean(abs((TestOutputs-TestForecast)./TestOutputs)).`

Таблиця 5. Результати прогнозування встановленої моделі ANFIS

Модель ANFIS	Вхідні параметри	RMSE		MAPE	
		Train	Test	Train	Test
Grid partitioning	Кількість термів — 2; Функція належності — 'trimf' Тип функції вихідного членства — 'linear'	0,0269	0,3054	0,0175	0,206
Subtractive Clustering	Діапазон впливу кластера — 0,38	0,04	0,1108	0,026	0,078
FCM Clustering	Кількість кластерів — 65	0,0929	0,1153	0,0638	0,092

Порівняння результатів ПЕН виконаємо на основі консолідованих даних табл. 6.

Таблиця 6. Результати прогнозування для всіх методів прогнозування

Метод ПЕН	Похибка RMSE		Похибка MAPE	
	Train	Test	Train	Test
ARIMA(4,1,2)	0,1216	0,052	0,077	0,035
Наївний прогноз	0,173	0,0597	0,1329	0,0418
Grid partitioning з 2 термами	0,0269	0,3054	0,0175	0,206
Subtractive Clustering	0,04	0,1108	0,026	0,078
FCM Clustering	0,0929	0,1153	0,0638	0,092

З даних, наведених у табл. 6, видно, що для багатокрокового прогнозування для тестової вибірки більш точний прогноз дає модель ARIMA(4,1,2), а моделі ANFIS та «наївного прогнозу» є менш точними.

Висновки

На основі проведених розрахункових досліджень методів короткострокового ПЕН з використанням двох моделей на основі статистичних методів і трьох моделей на основі ANFIS встановлено, що найбільш ефективною є модель прогнозування ARIMA(4,1,2). RMSE для тестової вибірки становить 0,052, а похибка MAPE тестової вибірки становить 0,035.

Дослідження показало доцільність застосування моделей ANFIS, «наївного» прогнозу та ARIMA для короткострокового багатокрокового ПЕН забезпечення ефективного функціонування систем керування електроспоживанням та електропостачанням промислових підприємств і цивільних об'єктів.

У подальших дослідженнях планується розробка моделей прогнозування вироблення електроенергії для фотоелектростанцій на основі моделей штучного інтелекту.

Література

- An, N., Anh, D. T. (2015). Comparison of Strategies for Multi-step-Ahead Prediction of Time Series Using Neural Network. *2015 International Conference on Advanced Computing and Applications (ACOMP)*, 142—149. <https://doi.org/10.1109/ACOMP.2015.24>.
- Aras, S., Kocakoc, I. D., Polat, C. (2017). Comparative study on retail sales forecasting between single and combination methods. *Journal of Business Economics and Management*, 18(5), 803—832. <https://doi.org/10.3846/16111699.2017.1367324>.
- Benmouiza, K., Clusered, A. C. (2018) ANFIS network using fuzzy c-means, subtractive clustering, and grid partitioning for hourly solar radiation forecasting. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(1—2), 31—43. DOI:10.1007/s00704-018-2576-4.
- Jain, P., Quamer, W. Pamula, R. (2018). Electricity Consumption Forecasting Using Time Series Analysis: Second International Conference, *ICACDS 2018*, 20—21. DOI:10.1007/978-981-13-1813-9_33.
- Maddipati, S. S., Pradeepini, D. G., Yesubabu, D. A. (2018). Software Defect Prediction using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(1), 394—397.
- Masum, S., Ying, L., Chiverton, J. (2018). Multi-step Time Series Forecasting of Electric Load Using Machine Learning Models. *7th International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing: ICAISC 2018*, 148—159. DOI:10.1007/978-3-319-91253-0_15.
- Saravanan, S., Kannan, S., Thangaraj, C. (2015). Prediction of India's Industrial Sector Electricity Consumption Using ANFIS. *In Power Electronics and Renewable Energy Systems*, 5(3), 985—990. DOI: 10.21917/ijsc.2015.0138.
- Shao, X., Kim, C. S. (2020). Multi-Step Short-Term Power Consumption Forecasting Using Multi-Channel LSTM With Time Location Considering Customer Behavior. *IEEE Access*, 8, 125263—125273. DOI:10.1109/ACCESS.2020.3007163.
- Taieb, B. S., Bontempi, G., Atiya, A., Sorjamaa, A. (2012). A review and comparison of strategies for multi-step ahead time series forecasting based on the NN5 forecasting competition. *Expert Systems with Applications: An International Journal Volume*, 39(8), 7067—7083. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.039>.
- Tay, K. G., Muwafaq, H., Tiong, W. K., Choy, Y. Y. (2019). Electricity Consumption Forecasting Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). *Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 6(5B), 37—48. DOI:10.13189/ujeee.2019.061606.
- Yeom, C. U., Kwak, K. C. (2018). Performance Comparison of ANFIS Models by Input Space Partitioning Methods. Symmetry. *2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, 10(12), 1—25. DOI:10.3390/sym10120700.

INTENSIFICATION OF CONCENTRATION AND IR-DRYING PROCESSES OF VEGETABLE RAW MATERIALS

V. Mykhaylov, A. Zahorulko, O. Zagorulko

State Biotechnological University

Key words:

*Film-like electric heater
Concentration
IR drying
Resource efficiency
Heat and mass transfer
Vegetable raw materials
Semi-finished products*

Article history:

Received 20.01.2022
Received in revised form
04.02.2022
Accepted 18.02.2022

Corresponding author:

A. Zahorulko

E-mail:

zagorulko.andrey.
nikolaevich@gmail.com

ABSTRACT

The film-like resistive electric heater of radiating type (PPRENW) was improved, which will be characterized by increased electrical safety, reliability, mechanical strength, resource efficiency, flexibility. The fixed geometry of the heating plane with the absorbing wavelength of 2 to 15 μm and the connection to the mains provides use in the following heat and mass transfer equipment.

A new type of rotary film evaporator (RFE) with the lower location of the separating space, screw unloading of concentrated organic fruit and berry paste and preheating of the puree with secondary steam is proposed. The energy of the concentrated product and the secondary steam is preheated by the puree fed into the apparatus at 8...10°C. Heating of the device PPRENVt, eliminates a steam component of systems of heat supply. The reduction of the specific energy consumption for heating the unit volume of the product was calculated: RFE — 547 kJ/kg with a duration — 75 s, compared to the base evaporator — 1090 kJ/kg, 1.08 hours.

The design of the thermal radiation single-drum roller dryer was improved, which differs in the combined method of heat supply, formation of the paste layer with a thickness of 4 to 8 mm on the working surface of the roller and cutting of the dried layer. The dryer allows to obtain a powdered fraction of fruit and vegetable semi-finished product with a dry matter content of 3...5% of the content of 45% of the original paste at a low temperature of 45...65°C. The duration of drying of the blended paste at change of the layer was defined: for thickness of 8 mm it was 75 min; of 6 mm — 60 min, and of 4 mm, 56 min, respectively (final content of the semi-finished product — 5% DM). The drying process was carried out at a temperature of 65°C and an air flow rate of 0.15 m/s.

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ КОНЦЕНТРУВАННЯ ТА ІЧ-СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

В. М. Михайлов, А. М. Загорулько, О. Є. Загорулько

Державний біотехнологічний університет

У статті вдосконалено плівкоподібний резистивний електронагрівач випромінювального типу (ПпРЕНвт), що характеризуватиметься підвищеною електробезпекою, надійністю, механічною міцністю, ресурсоефективністю, гнучкістю. Фіксована геометрія нагрівальної площини з поглинальною довжиною випромінювальної хвилі від 2 до 15 мкм та відведення підключення до електромережі забезпечує використання в тепломасообмінному обладнанні.

Запропоновано новий тип роторно-плівкового випарника (РПВ) з нижнім розташуванням сепарувального простору, шнековим вивантаженням концентрованої органічної плодово-ягідної пасти та попереднім підігріванням пюре вторинною парою. Енергія концентрованого продукту та вторинної пари попередньо підігріває пюре, що подається в апарат, на 8...10°C. Обігрівання апарата ПпРЕНвт ліквідує парову складову систем тепlopідведення. Розрахунковим шляхом підтверджено зменшення питомої витрати енергії на нагрівання об'єму одиниці продукту: РПВ — 547 кДж/кг з тривалістю 75 с порівняно з базовим випарником — 1090 кДж/кг відповідно 1,08 год у вакуум-випарному апараті (ВВА).

Удосконалено конструкцію терморадіаційної однобарабанної вальцьової сушарки, яка відрізняється комбінованим способом тепlopідведення, а саме ІЧ-випромінюванням і теплопровідністю, а також формуванням шару пасти товщиною від 4 до 8 мм на робочій поверхні вальцю та зрізанням сушеного шару. Сушарка дає змогу отримувати порошкоподібну фракцію плодовоовочевого напівфабрикату з вмістом сухих речовин 3...5% від вмісту 45% вихідної пасти при низькотемпературному режимі 45...65°C. Визначена тривалість сушіння купажованої пасти при зміні шару: для товщини 8 мм становить 75 хв; 6 мм — 60 хв, 4 мм — 56 хв (кінцевий вміст напівфабрикату — 5% СР). Процес сушіння реалізовувався за температури 65°C і швидкості повітряного потоку 0,15 м/с.

Ключові слова: плівкоподібний електронагрівач, концентрування, ІЧ-сушіння, ресурсоефективність, тепломасообмін, рослинна сировина, напівфабрикати.

Постановка проблеми. У процесі переробки рослинної сировини особлива увага приділяється її тепломасообмінній обробці, обладнанню та режимним параметрам для забезпечення максимального збереження початкових властивостей. У більшості випадків апаратурно-технологічні комплекси характеризуються низьким рівнем ресурсоефективності за рахунок використання високотемпературних проміжних теплоносіїв. У разі застосування електричних носіїв складності виникають із високою інерційністю, металоємністю та стабілізацією температурного впливу, що підтверджує доцільність пошуку інноваційних рішень, спрямованих на розробку й удосконалення тепломасообмінного обладна-

ння для підвищення його ресурсоефективності. Зокрема, за рахунок використання щадних температурних режимів із забезпеченням рівномірного температурного поля під час використання сучасних нагрівачів. Це дасть змогу підвищити якість переробки рослинної сировини для виробництва купажованих оздоровчих пастоподібних і сушених напівфабрикатів оздоровчого призначення для задоволення потреби споживчих кооперацій (Назарова, 2014; Шкуратов, Дребот & Чудовська, 2014). Отже, актуальним є завдання розробки ресурсоефективного теплового обладнання на основі електричних нагрівачів, які характеризуються щадною тепловою обробкою, чіткою динамікою нагрівання, низькою металоємністю та рівномірністю нагрівання в умовах повторення геометрії робочих камер апаратів. Отримані на вдосконаленому обладнанні купажі пастоподібних і сушених рослинних напівфабрикатів у подальшому можуть бути використані для виробництва різноманітних продуктів харчування з підвищенням харчової цінності. Це забезпечить розширення асортименту багатоцільових раціонів харчування населення європейських країн, передусім людей, які перебувають в екстремальних умовах, зокрема військового та медичного контингенту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ресурсоефективність виробничих процесів залежить від ступеня не лише технологічної інноваційності, а й обладнання, що реалізує основні операції під час переробки органічної сировини в багатокомпонентні вироби, зокрема концентрування, сушіння тощо (Hernández-Parra та ін., 2018). Наявні апаратурно-технологічні комплекси з переробки рослинної сировини орієнтовані на великі обсяги гігантських виробництв без можливості розташування в місцях збирання. Також більшість тепломасообмінного обладнання є морально застарілим і характеризується низькою ремонтоздатністю і відсутністю енергоощадних комплексів. У більшості конструкцій тепломасообмінного обладнання використовуються парогенератори або проміжні теплоносії, що ускладнюють стабілізацію температурного впливу на сировину в умовах високотемпературної обробки, штучно збільшуючи металоємність переробних ліній та ускладнюючи їх експлуатацію (Алабина, Дроздова & Володзько, 2006).

Одним із напрямів підвищення ефективності тепломасообмінного обладнання є підвищення ресурсоефективності за рахунок використання енергоощадних комплексів, що потребує використання сучасних ПЧ-випромінювачів з чіткою динамікою роботи та низькою температурою робочої поверхні (Загорулько & Загорулько, 2015; Загорулько & Загорулько, 2017). Це забезпечить низькотемпературну тепломасообмінну обробку рослинної сировини, а отже, виробництво якісних напівфабрикатів високого ступеня готовності.

Аналізуючи апаратурно-технологічну складову основного тепломасообмінного обладнання з концентрування та ПЧ-сушіння рослинної сировини, можна виділити основні недоліки. Зокрема, використання проміжних високотемпературних теплоносіїв або парогенераторів з технічними магістралями збільшує металоємність та енерговитрати в умовах складної стабілізації температурного впливу з нерівномірним прогріванням сировини. При цьому базові тепломасооб-

мінні апарати характеризуються відсутністю комплексів з використанням вторинної енергії для підвищення ресурсоефективності (Снежкин, 1993). Це обумовлює актуальність науково-практичних досліджень з мінімізації існуючих інженерно-конструктивних недоліків завдяки використанню сучасних енергоощадних електронагрівачів і комплексів з перетворення вторинної теплоти в корисну енергію живлення.

Виробництво купажованих напівфабрикатів з рослинної сировини, зокрема паст і сушених фракцій, дасть змогу забезпечити річну потребу споживчих операцій в оздоровчих природних напівфабрикатах. Отримані напівфабрикати виступають у ролі самостійних продуктів харчування та є незамінними натуральними збагачувачами біологічно активними речовинами, структуроутворювачами та поліпшувачами кольору харчових продуктів (Нечаев, 2007; Капрелянц & Іоргачова, 2003).

Метою дослідження є апаратне вдосконалення тепломасообмінних процесів концентрування та ІЧ-сушіння рослинної сировини за рахунок використання плівкоподібного резистивного електронагрівача випромінювального типу з щадними температурними діапазонами, що дасть змогу підвищити ефективність виробництва купажованих плодово-ягідних паст і сушених напівфабрикатів високого ступеня готовності.

Викладення основних результатів дослідження. Одним із напрямків забезпечення ресурсоефективності під час апаратного вдосконалення тепломасообмінних процесів концентрування та ІЧ-сушіння рослинної сировини є впровадження сучасних електричних теплоносіїв, використання яких дасть змогу підвищити ефективність базових конструкцій для концентрування та сушіння рослинної сировини за рахунок ліквідації проміжних високотемпературних теплоносіїв з технологічними мережами. При цьому ефективне тепlopідведення забезпечить чітку стабілізацію температурного впливу в умовах рівномірного температурного поля від електронагрівачів з низькою інерційністю та теплоємністю. Одним із різновидів таких ІЧ-випромінювачів є гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінювального типу, що характеризується максимальною температурою поверхні — 40...85°C, та довжиною випромінювальної хвилі 6...15 мкм. Проте нагрівачам властиві недоліки, що ускладнюють їх використання в апаратах для концентрування та сушіння, а саме: відкриті контактні мережі, які окислюються в пароповітряному середовищі; відсутність тепловіддзеркалюючої поверхні та вузька випромінювальна здатність для рослинної сировини. З огляду на вищезазначені недоліки та їх аналізування, здійснено вдосконалення різновиду електронагрівачів з використанням сучасних інноваційних рішень.

Удосконалений плівкоподібний резистивний електронагрівач випромінювального типу (ПпРЕНВт, рис. 1) складається з гнучкої електроізоляційної плівки 1 (діелектрична підкладка), на поверхню якої за допомогою вакуумного напилення нанесено резистивний елемент на основі струмопровідної ніхромової пасти 3 товщиною від 2 до 15 мкм у вигляді послідовно з'єднаних одна з одною прямо-

кутних смуг, розташованих перпендикулярно шинам 4. Підключення до електромережі здійснюється за допомогою відведень 5, розміщених у проміжку між нижнім 2 та верхнім 6 шаром гнучкої електроізоляційної плівки.

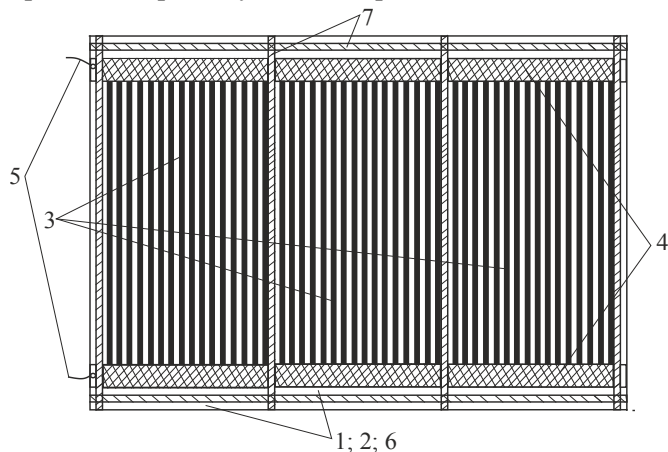


Рис. 1. Плівкоподібний резистивний електронагрівач випромінювального типу:
1, 2 та 6 — шари гнучкої електроізоляційної плівки; 3 — струмопровідна ніхромова паста;
4 — струмопровідні шини; 5 — відведення для підключення до електромережі;
7 — гнучкі фіксувальні стрижні

Шари гнучкої електроізоляційної плівки 1, 2 та 6 повторюють геометричну форму струмопровідної ніхромової пасты 3 та з'єднані ламінуванням в один пристрій. Крім того, 2-й шар гнучкої електроізоляційної плівки має додаткову термоізоляцію (5...10 мм) на основі спіненого поліетилену, а кожні 30, 60 то 90 мм відносно ширини/довжини плівки розміщені гнучкі фіксувальні стрижні 7 (для створення потрібної геометрії нагрівальної поверхні), забезпечуючи високу механічну міцність, термоізоляцію, гнучкість, різну поглинальну довжину випромінювальної хвилі та електробезпеку при експлуатації.

Технічним результатом використання плівкоподібного резистивного електронагрівача випромінювального типу є підвищення електробезпеки, надійності, механічної міцності, ресурсоефективності, гнучкості. Фіксована геометрія нагрівальної площини з різною поглинальною довжиною випромінювальної хвилі від 2 до 15 мкм, електробезпека при експлуатації у тепломасообмінних апаратах з підвищеним вологовмістом. Для апробації ефективності використання ПпРЕНВТ під час вдосконалення сучасних тепломасообмінних апаратів зі щадними температурними діапазонами спроектовані експериментально-практичні моделі.

Удосконалена модель роторно-плівкового випарника (РПВ) з нижнім розташуванням сепаруючого простору, шнековим вивантаженням концентрованої плодово-ягідної пасты та попереднім підігріванням органічного пюре вторинною парою наведена на рис. 2. Верхня частина РПВ являє собою вертикальну робочу камеру 1, обігрів якої здійснюється ПпРЕНВТ 2. Запропоноване інженерне рішення ліквідує парову складову систем теплопідведення стандартних випарників і підвищує конструктивну ресурсоефективність.

Надходження плодово-ягідних пюре в РПВ здійснюється крізь нагнітальний патрубок 3, розташований у просторі горизонтальної робочої камери 4 у вигляді

трубчастого теплообмінника «труба в трубі». Нагнітальний патрубок 3 з'єднаний зі змієвиковим теплообмінником 5, по внутрішньому простору якого сировина нагнітається до пристрою надходження пюре (порожнистої муфти) 6 з гумовими ущільнювачами 7 від змієвкового теплообмінника 5 до вертикального трубопроводу 8.

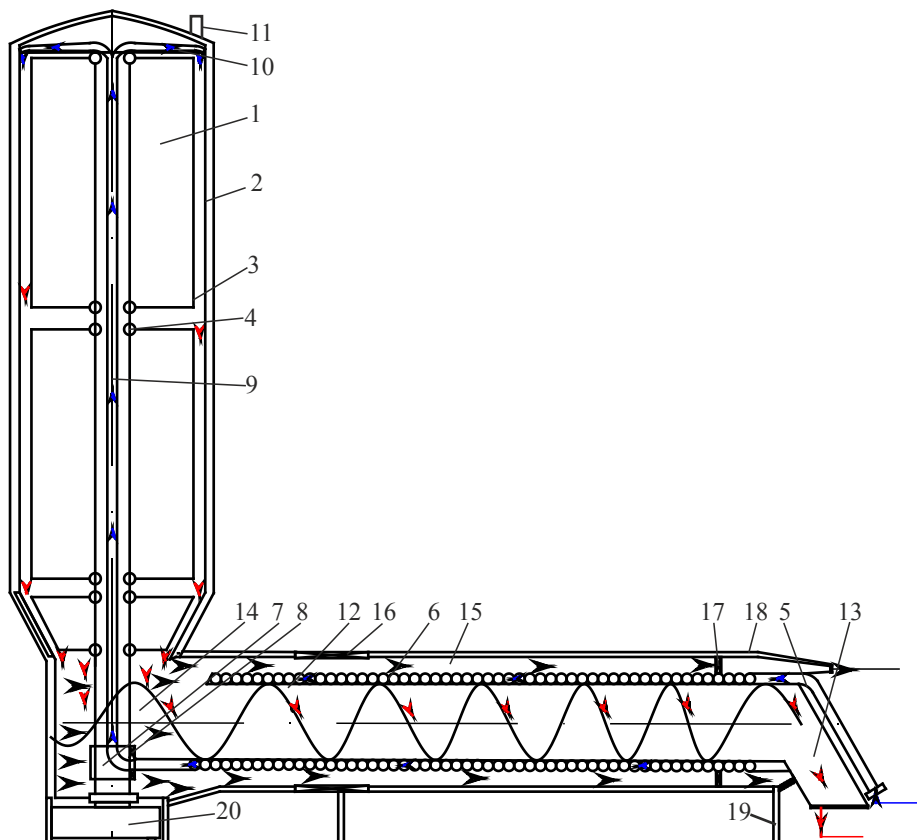


Рис. 2. Схема вдосконаленої модельної конструкції роторно-плівкового випарника з нижнім розташуванням сепаруючого простору: 1 — вертикальна робоча камера; 2 — плівкоподібний резистивний електронагрівач випромінювального типу (ПпРЕНВТ); 3 — патрубок нагнітання органічного плодово-ягідного пюре; 4 — горизонтальна робоча камера (теплообмінник «труба в трубі»); 5 — змієвиковий теплообмінник; 6 — пристрій надходження пюре (порожниста муфта); 7 — гумові ущільнювачі; 8 — вертикальний трубопровід; 9 — ротор з шарнірними фіксаторами; 10 — зрізувальні лопаті; 11 — конусоподібна розподільувальна насадка; 12 — контрольно-запобіжна арматура; 13 — сепарувальний простір; 14 — шнек відведення концентрату (паста); 15 — патрубок відведення концентрату; 16 — елементи Пельтьє; 17 — витяжні вентилятори; 18 — патрубок відведення вторинного повітря; 19 — стійки; 20 — апаратурне відділення з блоком керування технологічними параметрами

У внутрішньому просторі вертикальної колони РПВ розміщено обертальний ротор 9 з шарнірно з'єднаними зрізувальними лопатями 10, що під час обертання

утворюють шар сировини на робочій поверхні апарата. Вертикальний трубопровід 8 з'єднується з конусоподібною розподільовальною насадкою 11, утворюючи таким чином тонкоплівний шар сировини з подальшою тепломасообмінною обробкою при надлишковому тиску 13...15 кПа. РПВ у верхній частині має контрольно-запобіжну арматуру 12, що додатково підвищує безпеку використання випарника під час вакуумування.

Концентрат надходить до звуженої нижньої частини з вертикального робочого простору до горизонтального простору РПВ, потрапляючи в сепарувальний простір 13, при цьому за рахунок різкого розширення простору здійснюється розділення концентрату та парової складової (конденсату). Концентрат за рахунок фізичних властивостей падає на шнек 14, розташований у внутрішньому просторі горизонтального теплообмінника 4, забезпечуючи термічну стабілізацію концентрату та остаточне відведення паровмісної складової після термічної обробки пюре. Зі шнеку 14 концентрований напівфабрикат (органічна паста) крізь патрубок 15 відводиться на подальші технологічні потреби (фасування, сушіння тощо).

Паровмісна складова з сепарувального простору 13 надходить до міжтрубного простору горизонтального теплообмінника «труба в трубі» 4 зі встановленими елементами Пельтьє 16, перетворюючи теплову енергію в низьковольтну напругу живлення витяжних вентиляторів 17. Експериментально-дослідним шляхом встановлено утворення низьковольтної напруги живлення при температурі паровмісних потоків від 35°C. Вентилятори 17 забезпечують примусове відведення паровмісних потоків із сепарувального простору 4 до патрубку 18 з подальшим використанням у технологічних потребах або ж до навколишнього середовища. За рахунок примусового руху паровмісних потоків між трубчастим простором теплообмінника 4 з розташованим змієвиковим теплообмінником 5 забезпечується його підігрівання на 8...10°C, додатково підвищуючи таким чином ресурсоефективність енергоємного термічного процесу. РПВ змонтований на стійках 19, у нижній частині має апаратурне відділення 20 з блоком керування технологічних параметрів.

Розрахунково-практичним шляхом визначена ефективність РПВ при концентруванні плодово-ягідного пюре від вмісту 14% до 30% СР. Встановлено зменшення вдвічі одного з основних показників ресурсоефективності — питомої витрати енергії на нагрівання об'єму одиниці продукту: РПВ становить 547 кДж/кг, базовий вакуум-випарний апарат (МЗС-320 — 1090 кДж/кг). Такий ефект пояснюється меншими габаритно-ваговими характеристиками РПВ (відсутність парових тепломереж) та короткотривалим інтенсивним концентруванням продукту в плівковій течії на відміну від об'ємного випаровування в базовому МЗС-320. Тривалість термічної обробки в РПВ складає 75 с та 1,08 год у вакуум-випарному апараті, так забезпечується менший температурний вплив на сировину, а отже, ефективність впровадження розробки в технологічні лінії з виробництва органічних плодово-ягідних напівфабрикатів.

Для сушіння концентрованої пасти в порошкоподібні фракції здійснено вдосконалення терморадіаційної однобарабанної вальцової сушарки (рис. 3). Паста (43...45% СР) подається шестеренчастим насосом 1 до змієвика 2, розташованого

у внутрішньому просторі барабана 3, який змонтовано на валу 4 та встановлено у підшипникових комірках 5 для забезпечення обертального руху від редуктора 6. Обігрівання робочої поверхні рифленого барабана 3 та ІЧ-нагрівання шару сировини здійснюється за допомогою двох ПпРЕНВТ 8, що розташовано циліндрично. Один — у внутрішньому просторі барабана вальця 3 (кондуктивне нагрівання); другий — у робочій камері за умов закріплення на нержавіючому кожуху 9 (ІЧ-нагрівання). Температурний діапазон нагрівання для внутрішньої поверхні барабана 3 робочої поверхні циліндричної робочої камери 7 становить 45...65°C (для забезпечення низькотемпературної обробки концентрованої пасти). Зовнішня поверхня циліндричної робочої камери 7 для зменшення тепловтрат покрита теплоізолюючим алюфомом з нержавіючим кожухом 9, що одночасно утворює корпус вальцьової сушарки, змонтованої на опорах 10.

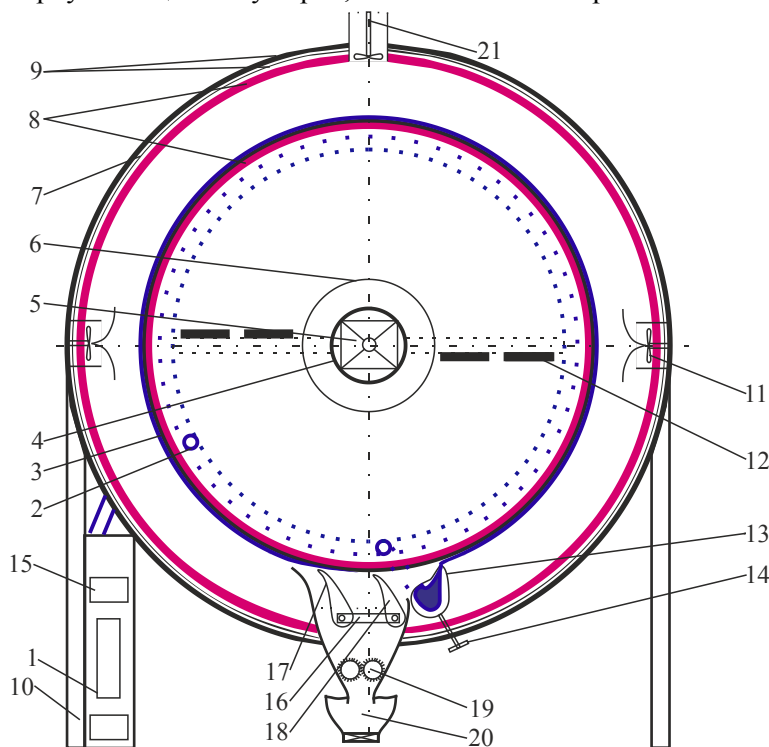


Рис. 3. Схема вдосконаленої моделі терморадіаційної однобарабанної вальцьової сушарки для сушіння попередньо концентрованої у роторному випарнику купажованої органічної сировини (пасти) в напівфабрикати порошкоподібної фракції:

- 1 — шестеренчастий насос; 2 — змієвик; 3 — барабан; 4 — вал;
5 — підшипникові комірочки; 6 — редуктор; 7 — робоча камера; 8 — плівкоподібний резистивний електронагрівач випромінювального типу (ПпРЕНВТ); 9 — нержавіючий кожух з теплоізолюючим алюфомом; 10 — опори; 11 — нагнітальні вентилятори;
12 — елементи Пельтьє; 13 — конусоподібний розпилювач (цапфа); 14 — регулятор шару сировини; 15 — тиристорний регулятор; 16 — підпружинена площадка;
17 — конусоподібні зрізаючі ножі; 18 — відбійник з фторопластовим напленням;
19 — зубчасті вальці; 20 — розвантажувальний бункер з ваговим дозатором;
21 — витяжний вентилятор

Для забезпечення надходження свіжого повітря до робочого простору вальцювої сушарки встановлені два нагнітальні вентилятори 11, які працюють автономно від перетворення вторинної теплоти елементами Пельтьє 12 в низьковольтну напругу живлення (15...40 Вт). Елементи Пельтьє розміщені у внутрішньому просторі рифленого барабана 3, де постійно підтримується температура в межах до 65°C. Нанесення концентрату здійснюється симетрично встановленим відносно рифленій робочій поверхні барабана 3 конусоподібного розпилювача (цапфа) 13, кінці якого з'єднані зі змієвиком 2 для однорідного нагнітання сировини з регулятором шару сировини 14. Головною умовою процесу сушіння пасти є висушування за один оберт робочої поверхні барабана 3 до вмісту 3...5% СР, регулювання швидкості обертання валу 4 здійснюється тиристорним регулятором 15.

Для зрізання сушеного напівфабрикату використовується підпружинена площадка 16 з конусоподібними зрізаючим ножом 17 і відбійником 18 з фторопластовим напиленням. Підпружинення площадки 16 дає змогу регулювати зусилля її притискання до рифленої робочої поверхні. Використання конусоподібного відбійника 18 з фторопластовим напиленням після конусоподібного зрізаючого ножа 17 виконує функцію додаткового спрямування зрізаного шару сировини та остаточного очищення рифленої поверхні перед нанесенням нового шару сировини. Для забезпечення більш однорідної порошкоподібної фракції сушеного напівфабрикату в зоні зрізання змонтовані зубчасті вальці 19, що обертаються на зустріч один одному та дозволяють регулювати фракцію за рахунок зазору між ними. Порошкоподібна фракція під силою тяжіння падає до розвантажувального бункера з вагомим дозатором 20, а відведення вологовмісного повітря з вальцювої сушарки здійснюється за рахунок витяжного вентилятора 21.

Визначено кінетику вологовмісту купажованої пасти з вмістом 45% СР за температури 65°C та швидкості повітряного потоку 0,15 м/с до кінцевого вмісту 5% СР у моделі однобарабанної вальцювої сушарки. Під час досліджень змінювалася товщина шару нанесення концентрату купажованої пасти в межах 4:6:8 мм (рис. 4).

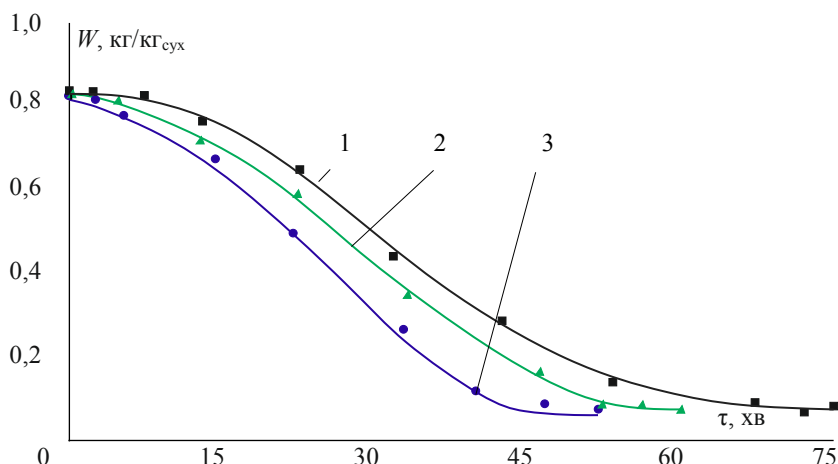


Рис. 4. Кінетика вологовмісту купажованої пасти (45% СР) при сушінні у однобарабанній вальцювій сушарці за товщини шару сировини:
1 — 8 мм; 2 — 6 мм; 3 — 4 мм

Аналіз кінетики вологовмісту купаженої пасти підтверджує можливість реалізації процесу сушіння в однобарабанный вальцьовій сушарці. Встановлено, що тривалість сушіння для товщини 8 мм становить 75 хв, при товщині 6 мм — 60 хв, а для товщини 4 мм — 56 хв. При цьому перші 5 хв сушіння здійснювались в умовах вимкненого вентилятора.

Висновки

Здійснено вдосконалення плівкоподібного резистивного електронагрівача випромінювального типу, що характеризуватиметься підвищеною електробезпекою, надійністю, механічною міцністю, ресурсоефективністю, гнучкістю. Фіксована геометрія нагрівальної площини, з поглинальною довжиною випромінювальної хвилі від 2 до 15 мкм і наявність герметизації відведень підключення до електромережі надає можливість використання плівкоподібного резистивного електронагрівача як нагрівача для тепломасообмінного обладнання.

У роторно-плівковому випарнику з нижнім розташуванням сепарувального простору забезпечується вивантаження пасти за допомогою шнека та попереднє підігрівання пюре вторинною парою. Енергія концентрованого продукту та вторинної пари підігріває пюре, що подається, на 8...10°C. Обігрівання апарата плівкоподібним резистивним електронагрівачем випромінювального типу з теплоізолюючою зовнішньою поверхнею ліквідовує парову складову систем теплопідведення. Розрахунковим шляхом підтверджено зменшення питомої витрати енергії на нагрівання об'єму одиниці продукту: РПВ — 547 кДж/кг з тривалістю 75 с порівняно з базовим ВВА — 1090 кДж/кг, відповідно, 1,08 години (ВВА). Терморадіаційна однобарабання вальцьова сушарка, що відрізняється способом теплопідведення, забезпечує формування шару пасти товщиною від 4 до 8 мм на робочій поверхні вальця та зрізання сушеного шару сировини. Сушарка дає змогу отримувати порошкоподібну плодоовочеву фракцію з вмістом СР 3...5% від вмісту в пасті 45% при низькотемпературному режимі 45...65°C. Тривалість сушіння купаженої пасти при зміні шару: для товщини 8 мм становить 75 хв, 6 мм — 60 хв, т 4 мм — 56 хв (кінцевий вміст сушеного напівфабрикату — 5% СР). Процес сушіння реалізовувався за температури 65°C та швидкості повітряного потоку 0,15 м/с.

Подальші дослідження планується спрямувати на впровадження вдосконаленого ПпРЕНВТ у тепломасообмінний апарат, зокрема для проведення попередньої теплової обробки та підігрівання.

Література

Назарова, Л. В. Стан харчової промисловості України та перспективи підприємств галузі на зовнішніх ринках. Взято з: <http://globalnational.in.ua>.

Шкуратов, О. І., Дребот, О. І., Чудовська, В. А. та ін. (2014). *Концепція розвитку органічного землеробства в Україні до 2020 року*. К.: ТОВ «Екоінвестком».

Oscar Dario Hernández-Parra, Artemio Plana-Fattori, Graciela Alvarez, Fatou-Toutie Ndoeye, Hayat Benkhelifa, Denis Flick. (2018). Modeling flow and heat transfer in a scraped surface heat exchanger during the production of sorbet. *Journal of Food Engineering*, 221, 54—69. Взято з: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.09.027>.

Алабина, Н., Дроздова, В., Володзько, Г. (2006). Плодоовощные консервы профилактического назначения. *Пищевая промышленность*, 11, 78—79.

Загорулько, А., Загорулько, О. Гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінюючого типу. (2015). (Патент України № 108041). <https://uapatents.com/5-108041-gnuchkijj-plivkovijj-rezistivnijj-elektronagrivach-viprominyuyuchogo-tipu.html>.

Загорулько, А., Загорулько, О. Вальцьова (2017). ІЧ-сушарка для сушіння природних паст (пюре) у порошкоподібні напівфабрикати. (Патент України № 119166). <https://elib.hduht.edu.ua/bitstream/123456789/2315/1/119166.pdf>.

Снежкин, Ю. (1993). *Научные основы разработки ресурсосберегающих теплотехнологий производства фруктово-ягодных порошков*. (Дис. доктора техн. наук). Академия наук Украины, Институт технической теплофизики, Киев.

Нечаев, А. П., Шуб, И. С., Аношина, О. М. и др. (2007). *Технологии пищевых производств*. М.: КолосС.

Капрельянц, Л. В., Юргачова, К. Г. (2003). *Функціональні продукти*. Одеса: Друк.

SPEED OF TEMPERATURE RELAXATIONS ON EVAPORATORY INSTALLATIONS IN TRANSITIONAL MODES

V. Petrenko, M. Maslikov, V. Boyko, M. Miroshnik

National University of Food Technologies

Key words:

*Evaporator
Multi-vessel evaporators
Transients
Temperature
Mathematical modeling*

Article history:

Received 11.01.2022
Received in revised form
24.01.2022
Accepted 08.02.2022

Corresponding author:

V. Petrenko
E-mail:
petrenkovp@ukr.net

ABSTRACT

The object of the study is transient processes in evaporators and multi-vessel evaporators of sugar factories. An analysis of non-standard situations was made which arise during the operation of the heat-technological complex of a sugar plant, which require the use of intelligent control systems for evaporators. The article analyzes the temperature transients at the five-effect evaporator plant in the process of changing the pressure of the heating steam on the main body and also as a result of the instantaneous opening of the steam valve from the last body to the condenser, as two main tools for regulating the performance of evaporator plants. Analytical expressions were obtained for calculating change in temperature pressures in the process of movement of the temperature wave along the VU bodies in the process of changing the steam pressure on the first VU body, as well as changing the steam load on the condenser. The main universal criterion is determined, which determines the inertia of transient processes during the application of a temperature disturbance, or a steam disturbance — the parameter of the temperature relaxation rate, which is proportional to the product of the heat surface by the heat transfer coefficient, and inversely proportional to the total mass heat capacity of the syrup mass and the metal mass heat capacity of the evaporation apparatus.

Obtained as a result of mathematical modeling of transient temperature processes on the EU of response functions, they are universal and valid for arbitrary evaporators and evaporatory installations, including evaporatory installations with thermo-compressors for concentrating fruit juices and milk. A graphical interpretation of the obtained results is presented in the form of dependences of relative temperature changes over the buildings of the evaporator plant over time. The comparison of the results of modeling of transient temperature processes for evaporation plants with Robert's and film evaporators for a typical sugar plant with a capacity of 3000 tons of beets per day was made.

ШВИДКІСТЬ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЛАКСАЦІЙ НА ВИПАРНИХ УСТАНОВКАХ У ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ

В. П. Петренко, М. О. Масліков, В. О. Бойко, М. М. Мирошник

Національний університет харчових технологій

Об'єктом дослідження виступають перехідні процеси на випарних апаратах і багатокорпусних випарних установках цукрових заводів. Проаналізовані нестандартні ситуації, що виникають під час експлуатації теплотехнологічного комплексу цукрового заводу, які потребують застосування інтелектуальних систем регулювання випарними установками. У статті виконано аналіз температурних перехідних процесів на п'ятикорпусній випарній установці під час зміни тиску нагрівної пари на головний корпус і в результаті миттєвого відкриття парової засувки з останнього корпусу на конденсатор як двох основних інструментів регулювання продуктивності багатокорпусних випарних установок. Отримано аналітичні вирази для розрахунків зміни температурних напорів у процесі руху температурної хвилі корпусами ВУ під час зміни тиску пари на перший корпус ВУ, а також зміни парового навантаження на конденсатор. Визначено основний універсальний критерій, який впливає на інерційність перехідних температурних процесів під час нанесення температурного або парового збурення — параметр швидкості температурної релаксації, пропорційний добутку поверхні теплообміну на коефіцієнт теплопередачі і обернено пропорційний повній масовій теплоємності маси сиропу в апараті та металоємності випарного апарата.

Отримані в результаті математичного моделювання перехідних температурних процесів на ВУ функції відгуку універсальні і справедливі для будь-яких випарних апаратів та випарних установок, включаючи випарні установки з термокомпресорами для концентрування фруктових соків і молока. Надана графічна інтерпретація отриманих результатів у вигляді залежностей відносних температурних змін по корпусах випарної установки в часі. Виконано порівняння результатів моделювання перехідних температурних процесів для випарних установок з апаратами Роберта та плівковими випарними апаратами для типової випарної установки цукрового заводу потужністю 3000 тонн буряків за добу.

Ключові слова: випарний апарат, багатокорпусна випарна установка, перехідні процеси, температура, математичне моделювання.

Постановка проблеми. Потужні багатокорпусні випарні установки (ВУ) цукрових заводів складні в управлінні внаслідок значної ємності випарних апаратів і, як наслідок, часу релаксації від збурень, що отримує ВУ в процесі експлуатації. Управління ВУ полягає в підтримуванні заданих параметрів — концентрації сиропу на виході із ВУ та належного температурного режиму, за якого

станції нагрівання соків гарантовано забезпечать необхідні температури продуктів виробництва відповідно до вимог технологічного регламенту (Syfert, Rzebiejewski & Wnuk, 2005; Lutsкая & Vlasenko, 2013; Urbaniec, 2005; Chantasiriwan, 2017; Lahtinen, 2001). Збуреннями виступають змінні в часі концентрація та витрата соку на ВУ і, що важливо, періодично діючі вакуум-апарати першої кристалізації (Petrenko, Pryadko & Boyko, 2011), які є потужними споживачами пари з ВУ. Інструментами регулювання виступають: тиск нагрівної пари на перший корпус ВУ, вихід пари на конденсатор, перепуски пари з головних корпусів ВУ на хвостові, стискання пари з хвостової частини ВУ на головну пароструминними або механічними компресорами. Останній інструмент на ВУ цукрових заводів практично не застосовується.

Для потужних цукрових заводів з багатьма одночасно працюючими вакуум-апаратами першої кристалізації за умови ритмічної роботи заводу підтримування заданої концентрації сиропу на виході із ВУ не є складним завданням. Але у випадках порушення ритмічності, яка може інколи виникати внаслідок аварійних зупинок деяких станцій технологічної обробки соків, виникає порушення матеріального балансу на ВУ між кількістю води, що поступає із соком, і води, що випаровується з корпусів ВУ, оскільки продуктове відділення за таких умов не припиняється. За умови короточасних зупинок дисбаланс може бути усунуто за рахунок соку, що міститься в буферних ємностях (збірнику перед ВУ та холодному дефекаторі), і, якщо цього замало, водними підкачками на ВУ. Але в разі більш суттєвих затримок виникає відчутний дисбаланс між кількістю цукру, який вимивається із бурякової стружки в дифапаратах, і кількістю цукру, що викристалізовується у вакуум-апаратах. Зазначена ситуація виникає внаслідок того, що вакуум-апарати працюють на сиропі, який зварено на ВУ раніше. По суті, потужність продуктового відділення заводу перевищує потужність цеху сокодобування, що й створює дисбаланс продуктів на станціях обробки. Враховуючи, що вакуум-апарати споживають вторинну пару третього корпусу ВУ (рідше другого або четвертого) в умовах дефіциту соку на ВУ на виході із ВУ наростає концентрація сиропу, а на головних корпусах зменшується п'єзометричний рівень (наповненість випарного апарата соком), який, за дефіциту соку, поповнюється водою. Через деякий час концентрація сиропу з ВУ зростає, а згодом, навпаки, падає у результаті додавання води на перший корпус ВУ. Далі розбавлений сироп потрапляє на вакуум-апарати і знову виникає матеріальний дисбаланс по воді, але вже потужніший, оскільки чим менша концентрація сиропу, тим більше пароспоживання вакуум-апаратами першої кристалізації.

Традиційна система автоматичного регулювання, навіть на основі регуляторів з нечіткою логікою (Hrama, Sidletskyi & Elperin, 2019; Hrama, Sidletskyi & Elperin, 2020), неспроможна самотужки стабілізувати ситуацію без втручання людини. Тому потрібно мати інтелектуальну систему, яка б прогнозувала зміну параметрів на ВУ в часі як у разі тієї чи іншої дії, що відбулася, так і дії, яку пропонується виконати. Всі збурення, які отримує ВУ (зміна парового навантаження на корпуси ВУ, падіння або зростання витрати соку та вихідної концентрації соку) призводять до зміни концентрацій по корпусах ВУ у вигляді хвиль концентрацій, що повільно рухаються корпусами ВУ. Механізмом передавання збурення від

теплого навантаження є зміна температурного напору по корпусах ВУ. А наслідком зміни температурного напору — зміна концентрації по корпусах і, врешті, сиропу на виході з п'ятого корпусу ВУ, яка, за певних умов, може перевищувати гранично допустиму концентрацію.

Отже, прогнозування характеру розвитку концентраційних хвиль по ВУ пов'язано з відображенням двох механізмів — швидкості передавання температурного напору і, власне, концентраційних хвиль. Пропонована стаття присвячена висвітленню першого механізму — швидкості передавання температурного напору в результаті дії двох факторів процесу регулювання (зміни температури нагрівної пари та зміни навантаження на конденсатор з останнього корпусу ВУ).

Мета статті: аналітичне дослідження швидкості передавання температурної хвилі по корпусах ВУ як результату зміни температури нагрівної пари та зміни навантаження на конденсатор з останнього корпусу ВУ.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження виступає багатокорпусна випарна установка цукрового заводу, укомплектована випарними апаратами Роберта та плівковими випарними апаратами. Останні поступово витісняють перші. Пропоноване дослідження аналітичне, виконане на основі розв'язків диференціальних рівнянь перехідних процесів, що виникають у результаті змін технологічних параметрів (зміна витрати соку, його концентрації, робота періодично працюючого обладнання) і збурень, що виникають як результат регулювання ВУ. Діапазон зміни режимних параметрів ВУ, в рамках якого виконано дослідження, охоплює весь наявний діапазон, можливий у процесі експлуатації ВУ цукрових заводів.

Результати і обговорення. На випарних апаратах багатокорпусної ВУ в установленому режимі залежно від навантаження поверхні теплообміну та інтенсивності теплопередачі встановлюються такі корисні температурні напори по корпусах ВУ:

$$\Delta t_1^{\text{кор}} = \frac{Q_1}{K_1 F_1}; \quad \Delta t_2^{\text{кор}} = \frac{Q_2}{K_2 F_2}; \quad \Delta t_3^{\text{кор}} = \frac{Q_3}{K_3 F_3}; \quad \Delta t_4^{\text{кор}} = \frac{Q_4}{K_4 F_4}; \quad \Delta t_5^{\text{кор}} = \frac{Q_5}{K_5 F_5},$$

де $\Delta t_i^{\text{кор}} = t_i^{\text{гр}} - t_i^{\text{кип}} = t_i^{\text{гр}} - t_i^{\text{вт}} - \Delta_{\text{фх}} - \Delta_{\text{гд}}$ — корисний температурний напір до вільного випарного апарата; $\Delta_{\text{фх}}$, $\Delta_{\text{гд}}$ — фізико-хімічна та гідродинамічна температурні депресії, відповідно. Випарена волога по корпусах ВУ W_i визначена залежностями:

$$W_1 = \sum_1^5 E_i + D_{\text{к}}; \quad W_2 = W_1 - E_1 = \sum_2^5 E_i + D_{\text{к}}; \quad W_3 = W_2 - E_2 = \sum_3^5 E_i + D_{\text{к}};$$

$$W_4 = W_3 - E_3 = \sum_4^5 E_i + D_{\text{к}}; \quad W_5 = W_4 - E_4 = E_5 + D_{\text{к}}; \quad W = \sum_1^5 W_i = \sum_1^5 i E_i + 5 D_{\text{к}}, \quad \text{а}$$

тепловидатності корпусів ВУ, відповідно, як: $Q_1 = W_1 r_1$; $Q_2 = W_2 r_2$; $Q_3 = W_3 r_3$; $Q_4 = W_4 r_4$; $Q_5 = W_5 r_5$.

У наведених залежностях: E_1, E_2, E_3, E_4, E_5 — паровідбори, відповідно, з 1, 2, 3, 4, 5 корпусів ВУ; $D_{\text{к}}$ — витрата пари на конденсатор з останнього корпусу ВУ; W — випарена вода на ВУ; r — теплота фазового перетворення. За наявності

перепусків пари продуктивність ВУ відповідає виразу

$W = \sum_1^5 W_i = \sum_1^5 i E_i + p \Delta E_p - (p+1(2,3)) \Delta E_p + 5 D_k$, де ΔE_p — величина пере-
пуску пари; «р» — номер корпусу ВУ, з якого здійснюється перепуск пари;
«р+1(2,3)» — номер корпусу ВУ, в який здійснюється перепуск пари.

У період усталеної роботи ВУ за певного тиску й температури насичення нагрівної пари t_1^{tp} залежно від навантаження корпусів Q_i , поверхні теплообміну F_i і коефіцієнтів теплопередачі K_i встановлюється температурний режим, за якого температури вторинної пари корпусів матимуть конкретні значення, відповідно, $t_1^0, t_2^0, t_3^0, t_4^0, t_5^0$. Якщо в певний момент часу змінити (збільшити) температуру нагрівної пари на величину δt , то температурну реакцію першого корпусу на таке збурення (зміна температури вторинної пари) можна виразити рівнянням:

$$K_1 F_1 [t_1^{tp} + \delta t - t_1(\tau)] d\tau = (M_1 C_1 + M_{m1} C_m) dt_1 + K_1 F_1 (t_1^{tp} - t_1^0) d\tau, \quad (1)$$

або, спростивши,

$$K_1 F_1 [t_1^0 + \delta t - t_1(\tau)] d\tau = (M_1 C_1 + M_{m1} C_m) dt_1, \quad (2)$$

де t_1^0 — температура вторинної пари першого корпусу до нанесення збурення; M_1, M_{m1} — маси розчину в корпусі та маса металу випарного апарата першого ступеня випаровування відповідно; C_1, C_m — теплоємності розчину в першому корпусі та металу відповідно; K_1, F_1 — коефіцієнт теплопередачі та поверхні теплообміну випарного апарата відповідно; τ — час; t_1^{tp} — температура нагрівної пари першого корпусу ВУ до нанесення збурення; δt — миттєва зміна температури нагрівної пари як результат відкриття парової засувки.

Інтегрування (2) за початкових умов $\tau = 0$; $t_1 = t_1^0$ дає залежність для температури вторинної пари першого корпусу ВУ в часі:

$$t_1(\tau) = t_1^0 + \delta t [1 - \exp(-B_1 \tau)], \quad (3)$$

де $B_1 = \frac{K_1 F_1}{M_1 C_1 + M_{m1} C_m}$ — параметр швидкості температурної релаксації для випарного апарата першого ступеня випаровування.

На другому корпусі ВУ температура нагрівної пари змінюється в часі відповідно до виразу (3), тому температурна реакція другого корпусу на таке збурення можна виразити рівнянням:

$$K_2 F_2 [t_1(\tau) - t_2(\tau)] d\tau = (M_2 C_2 + M_{m2} C_m) dt_2 + K F (t_1^0 - t_2^0) d\tau. \quad (4)$$

Підставивши вираз (3) для $t_1(\tau)$ в (4):

$$K_2 F_2 [\delta t (1 - e^{-B_1 \tau}) + t_2^0 - t_2(\tau)] d\tau = (M_2 C_2 + M_{m2} C_m) dt_2 \quad (5)$$

та виконавши інтегрування (5) за початкових умов $\tau = 0$; $t_2 = t_2^0$, отримаємо залежність зміни в часі температури вторинної пари другого корпусу ВУ:

$$t_2(\tau) = t_2^0 + \delta t - \delta t \left(\frac{B_2}{B_2 - B_1} \right) \exp(-B_1 \tau) + \delta t A_0 \exp(-B_2 \tau), \quad (6)$$

де $B_2 = \frac{K_2 F_2}{M_2 C_2 + M_{m2} C_m}$ — параметр швидкості температурної релаксації для ви-

парного апарата другого ступеня випаровування; $A_0 = \frac{B_1}{B_2 - B_1}$.

Аналогічно для третього корпусу ВУ запишемо:

$$K_3 F_3 [t_2(\tau) - t_3(\tau)] d\tau = (M_3 C_3 + M_{m3} C_m) dt_3 + K_3 F_3 (t_2^0 - t_3^0) d\tau. \quad (7)$$

Підставивши вираз (6) для $t_2(\tau)$ в (7) та виконавши інтегрування за початкових умов $\tau = 0$; $t_3 = t_3^0$, отримаємо залежність зміни температури вторинної пари третього корпусу ВУ:

$$t_3(\tau) = t_3^0 + \delta t - \delta t A_1 \exp(-B_1 \tau) + \delta t A_2 \exp(-B_2 \tau) + \delta t A_3 \exp(-B_3 \tau), \quad (8)$$

де $B_3 = \frac{K_3 F_3}{M_3 C_3 + M_{m3} C_m}$ — параметр швидкості температурної релаксації для

випарного апарата третього ступеня випаровування; $A_1 = \frac{B_2 B_3}{(B_2 - B_1)(B_3 - B_1)}$;

$$A_2 = \frac{B_1 B_3}{(B_2 - B_1)(B_3 - B_2)}; \quad A_3 = A_1 - A_2 - 1.$$

Аналогічно для четвертого корпусу ВУ:

$$K_4 F_4 [t_3(\tau) - t_4(\tau)] d\tau = (M_4 C_4 + M_{m4} C_m) dt_4 + K F (t_3^0 - t_4^0) d\tau. \quad (9)$$

Підставивши вираз (8) для $t_3(\tau)$ в (9) та виконавши інтегрування за початкових умов $\tau = 0$; $t_4 = t_4^0$, отримаємо залежність зміни температури вторинної пари четвертого корпусу ВУ:

$$t_4(\tau) = t_4^0 + \delta t - \delta t A_1 \left(\frac{B_4}{B_4 - B_1} \right) \exp(-B_1 \tau) + \delta t A_2 \left(\frac{B_4}{B_4 - B_2} \right) \exp(-B_2 \tau) + \\ + \delta t A_3 \left(\frac{B_4}{B_4 - B_3} \right) \exp(-B_3 \tau) + \delta t A_4 \exp(-B_4 \tau) \quad (10)$$

де $B_4 = \frac{K_4 F_4}{M_4 C_4 + M_{m4} C_m}$ — параметр швидкості температурної релаксації для ви-

парного апарата четвертого ступеня випаровування;

$$A_4 = \left(\frac{B_4}{B_4 - B_1} \right) A_1 - \left(\frac{B_4}{B_4 - B_2} \right) A_2 - \left(\frac{B_4}{B_4 - B_3} \right) A_3 - 1.$$

Аналогічно для п'ятого корпусу ВУ:

$$K_5 F_5 [t_4(\tau) - t_5(\tau)] d\tau = (M_5 C_5 + M_{m5} C_m) dt_5 + K F (t_4^0 - t_5^0) d\tau. \quad (11)$$

Підставивши вираз (10) для $t_4(\tau)$ в (11) та виконавши інтегрування за початкових умов $\tau = 0$; $t_5 = t_5^0$, отримаємо залежність зміни температури вторинної пари п'ятого корпусу ВУ:

$$\begin{aligned}
 t_5(\tau) = & t_5^0 + \delta t - \delta t A_1 \left(\frac{B_4 B_5}{(B_4 - B_1)(B_5 - B_1)} \right) \exp(-B_1 \tau) + \\
 & + \delta t A_2 \left(\frac{B_4 B_5}{(B_4 - B_2)(B_5 - B_2)} \right) \exp(-B_2 \tau) + \\
 & + \delta t A_3 \left(\frac{B_4 B_5}{(B_4 - B_3)(B_5 - B_3)} \right) \exp(-B_3 \tau) + \\
 & + \delta t A_4 \left(\frac{B_5}{B_5 - B_4} \right) \exp(-B_4 \tau) + \delta t A_5 \exp(-B_5 \tau)
 \end{aligned} \quad (12)$$

де $B_5 = \frac{K_5 F_5}{M_5 C_5 + M_{m5} C_m}$ — параметр швидкості температурної релаксації для випарного апарата п'ятого ступеня випаровування;

$$\begin{aligned}
 A_5 = & \left(\frac{B_4 B_5}{(B_4 - B_1)(B_5 - B_1)} \right) A_1 - \left(\frac{B_4 B_5}{(B_4 - B_2)(B_5 - B_2)} \right) A_2 - \\
 & - \left(\frac{B_4 B_5}{(B_4 - B_3)(B_5 - B_3)} \right) A_3 - \left(\frac{B_5}{B_5 - B_4} \right) A_4 - 1
 \end{aligned}$$

Графічна інтерпретація відносної зміни температурного режиму по корпусах

ВУ $t_i^{\text{відн}} = \frac{t_i(\tau) - t_i^0}{\delta t}$ на п'ятикорпусній випарній установці при миттєвому збільшенні температури нагрівної пари за співвідношеннями (3—12) наведена на рис. 1. Розрахунки виконано для заводу потужністю 3000 тонн за добу з випарними апаратами Роберта, поверхнею теплообміну, відповідно, 2360, 3000, 2120, 1800, 1000 м². За оптимального п'єзометричного рівня маса рідини в апаратах становить, відповідно, 12, 17, 14, 15, 10 тонн, а маса металу самих випарних апаратів — 51,4, 71, 48,8, 43,56, 12,16 тонн відповідно.

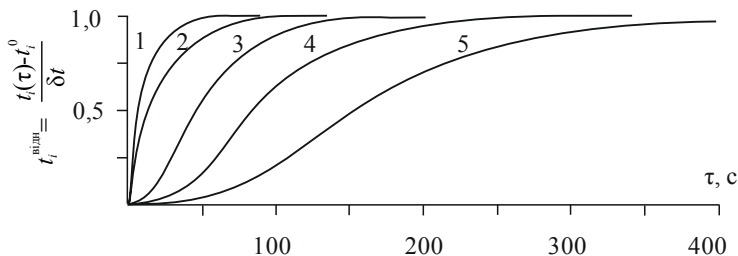


Рис. 1. Графіки відносної зміни температурного режиму $t_i^{\text{відн}} = \frac{t_i(\tau) - t_i^0}{\delta t}$ по корпусах ВУ: 1 — 1 корпус ВУ; 2 — 2; 3 — 3; 4 — 4; 5 — 5

Розглянемо характер розповсюдження теплової хвилі у зворотному напрямку — коли температурне збурення отримав п'ятий корпус ВУ, але не в результаті прямої зміни температури пари, а за рахунок зміни виходу пари на конденсатор. За такого збурення п'ятий корпус отримує миттєве парове навантаження, а зміна температури сокової пари є реакцією на нього. Аналогічно попередньому аналізу, якщо в певний момент часу змінити (збільшити) парове навантаження п'ятого корпусу ВУ, що відповідає зміні теплового навантаження на величину ΔQ_5 , то температурну реакцію п'ятого корпусу на таке збурення (зміна температури вторинної пари) можна виразити рівнянням:

$$\Delta Q_5 d\tau = -(\Sigma M_5 C_5) dt + K_5 F_5 [t_{50} - t_5(\tau)] d\tau, \quad (13)$$

де $(\Sigma M_5 C_5) = M_5 C_5 + M_{m5} C_m$; M_5, M_{m5} — маси розчину в корпусі та маса металу випарного апарата п'ятого ступеня випаровування відповідно; t_{50} — температура вторинної пари п'ятого корпусу до нанесення збурення; $t_5(\tau)$ — поточна температура вторинної пари; $\Delta Q_5 = \frac{\Delta W_5}{r_5}$ — теплова потужність потоку пари з п'ятого

корпусу на конденсатор в результаті відкриття засувки. Знак $(-)$ в першому члені правої частини рівняння означає падіння температури кипіння з часом. Розв'язок (13) за умови $\tau = 0$; $t_5 = t_{50}$:

$$t_5(\tau) = t_{50} - \frac{\Delta Q_5}{K_5 F_5} [1 - \exp(-B_5 \tau)] = t_{50} - \delta t_{5m} [1 - \exp(-B_5 \tau)], \quad (14)$$

де $\delta t_{5m} = \frac{\Delta Q_5}{K_5 F_5}$ — максимальна зміна температурного напору п'ятого корпусу

ВУ при $\tau = \infty$. Позначимо $\delta t_5(\tau) = t_{50} - t_5(\tau)$, яка змінюється від 0 до

$\delta t_{5m} = \frac{\Delta Q_5}{K_5 F_5}$ при $\tau = \infty$. Тоді розв'язок (14) виразимо через зміну температурного

напору на п'ятому корпусі ВУ як

$$\delta t_5(\tau) = \frac{\Delta Q_5}{K_5 F_5} [1 - \exp(-B_5 \tau)] = \delta t_{5m} [1 - \exp(-B_5 \tau)]. \quad (15)$$

Випарні апарати головної частини ВУ також отримують додаткове навантаження, але не миттєво, а поступово, пропорційно степеню зміни температурного напору на п'ятому корпусі ВУ. Тому четвертий корпус навантажений за законом

$$\Delta Q_4(\tau) = \Delta Q_5 \frac{\delta t_5(\tau)}{\delta t_{5m}} = \Delta Q_5 [1 - \exp(-B_5 \tau)]. \quad (16)$$

Температурна реакція четвертого корпусу на таке збурення (16) можна виразити рівнянням:

$$\Delta Q_5 [1 - \exp(-B_5 \tau)] d\tau = -(\Sigma M_4 C_4) dt_4(\tau) + K_4 F_4 [t_{40} - t_4(\tau)] d\tau, \quad (17)$$

або, враховуючи, що $-dt_4(\tau) = d[t_{40} - t_4(\tau)] = d(\delta t_4(\tau))$, запишемо:

$$\Delta Q_5 (1 - e^{-B_5 \tau}) d\tau = (\Sigma M_4 C_4) d(\delta t_4(\tau)) + K_4 F_4 \delta t_4(\tau) d\tau. \quad (18)$$

Розв'язок (18) за умови $\tau = 0$; $\delta t_4(\tau) = 0$:

$$\delta t_4(\tau) = \delta t_{4m} \left(1 + \left(\frac{B_4}{B_5 - B_4} \right) \exp(-B_5 \tau) - \left(\frac{B_4}{B_5 - B_4} \right) \exp(-B_4 \tau) \right), \quad (19)$$

де $\delta t_{4m} = \frac{\Delta Q_4}{K_4 F_4}$ — максимальна зміна температурного напору четвертого корпусу ВУ при $\tau = \infty$.

Відповідно, для третього корпусу функція зміни навантаження:

$$\Delta Q_3(\tau) = \Delta Q_5 \frac{\delta t_4(\tau)}{\delta t_{4m}} = \Delta Q_5 \left(1 + \left(\frac{B_4}{B_5 - B_4} \right) \exp(-B_5 \tau) - \left(\frac{B_5}{B_5 - B_4} \right) \exp(-B_4 \tau) \right). \quad (20)$$

Температурна реакція третього корпусу на збурення (20) можна виразити рівнянням:

$$\Delta Q_3(\tau) d\tau = K_3 F_3 [\delta t_3(\tau)] d\tau + (\Sigma M_3 C_3) d(\delta t_3(\tau)), \quad (21)$$

де $\delta t_3(\tau) = t_{30} - t_3(\tau)$.

Розв'язок (21) за умови $\tau = 0$; $\delta t_3(\tau) = 0$:

$$\delta t_3(\tau) = \delta t_{3m} \left[1 - S_5 \exp(-B_5 \tau) + S_4 \exp(-B_4 \tau) - (1 - S_5 + S_4) \exp(-B_3 \tau) \right], \quad (22)$$

де $S_5 = \left(\frac{B_3}{B_5 - B_3} \right) \left(\frac{B_4}{B_5 - B_4} \right)$; $S_4 = \left(\frac{B_3}{B_4 - B_3} \right) \left(\frac{B_5}{B_5 - B_4} \right)$; $\delta t_{3m} = \frac{\Delta Q_5}{K_3 F_3}$ — максимальна зміна температурного напору третього корпусу ВУ при $\tau = \infty$.

Відповідно, для другого корпусу ВУ функція зміни навантаження:

$$\begin{aligned} \Delta Q_2(\tau) &= \Delta Q_5 \frac{\delta t_3(\tau)}{\delta t_{3m}} = \\ &= \Delta Q_5 \left[1 - S_5 \exp(-B_5 \tau) + S_4 \exp(-B_4 \tau) - (1 - S_5 + S_4) \exp(-B_3 \tau) \right] \end{aligned} \quad (23)$$

Температурна реакція другого корпусу на збурення (23) виразиться:

$$\Delta Q_2(\tau) d\tau = K_2 F_2 (\delta t_2(\tau)) d\tau + \Sigma M_2 C_2 d(\delta t_2(\tau)), \quad (24)$$

де $\delta t_2(\tau) = t_{20} - t_2(\tau)$.

Розв'язок (24) за умови $\tau = 0$; $\delta t_2(\tau) = 0$:

$$\delta t_2(\tau) = \delta t_{2m} \left[1 + \left(\frac{B_2 S_5}{B_5 - B_2} \right) \exp(-B_5 \tau) - \left(\frac{B_2 S_4}{B_4 - B_2} \right) \exp(-B_4 \tau) + \right. \\ \left. + \left(\frac{B_2}{B_3 - B_2} \right) (1 - S_5 + S_4) \exp(-B_3 \tau) - S_3 \exp(-B_2 \tau) \right], \quad (25)$$

де $S_3 = \left[1 + \left(\frac{B_2 S_5}{B_5 - B_2} \right) - \left(\frac{B_2 S_4}{B_4 - B_2} \right) + \left(\frac{B_2}{B_3 - B_2} \right) (1 - S_5 + S_4) \right]$; $\delta t_{2m} = \frac{\Delta Q_5}{K_2 F_2}$ — максимальна зміна температурного напору другого корпусу ВУ при $\tau = \infty$.

Відповідно, для першого корпусу ВУ функція зміни навантаження:

$$\Delta Q_1(\tau) = \Delta Q_5 \frac{\delta t_2(\tau)}{\delta t_{2m}} = \Delta Q_5 \left[1 + \left(\frac{B_2 S_5}{B_5 - B_2} \right) e^{-B_5 \tau} - \left(\frac{B_2 S_4}{B_4 - B_2} \right) e^{-B_4 \tau} + \left(\frac{B_2}{B_3 - B_2} \right) (1 - S_5 + S_4) e^{-B_3 \tau} - S_3 e^{-B_2 \tau} \right] \quad (26)$$

Температурну реакцію першого корпусу на збурення (26) можна виразити рівнянням:

$$\Delta Q_1(\tau) d\tau = K_1 F_1 (\delta t_1(\tau)) d\tau + \Sigma M_1 C_1 d(\delta t_1(\tau)). \quad (27)$$

Розв'язок (27) за умови $\tau = 0$; $\delta t_2(\tau) = 0$:

$$\delta t_1(\tau) = \delta t_{1m} \left[\begin{aligned} &1 - S_2 S_5 e^{-B_5 \tau} + S_1 S_4 e^{-B_4 \tau} - S_0 (1 - S_5 + S_4) e^{-B_3 \tau} + \frac{B_1 S_3}{B_2 - B_1} e^{-B_2 \tau} - \\ &- \left(1 - S_2 S_5 + S_1 S_4 - S_0 + S_0 S_5 - S_0 S_4 + \frac{B_1 S_3}{B_2 - B_1} \right) e^{-B_1 \tau} \end{aligned} \right], \quad (28)$$

$$\text{де } S_0 = \frac{B_1 B_2}{(B_3 - B_2)(B_3 - B_1)}; S_1 = \frac{B_1 B_2}{(B_4 - B_2)(B_4 - B_1)}; S_2 = \frac{B_1 B_2}{(B_5 - B_2)(B_5 - B_1)};$$

$$\delta t_{1m} = \frac{\Delta Q_5}{K_1 F_1} \text{ — максимальна зміна температурного напору першого корпусу ВУ}$$

при $\tau = \infty$.

Графічна інтерпретація відносної зміни температурного режиму по корпусах ВУ $t_i^{\text{відн}} = \frac{t_i^0 - t_i(\tau)}{\delta t_m}$ на п'ятикорпусній випарній установці при миттєвому збільшенні навантаження на п'ятий корпус ВУ за співвідношеннями (14—28) наведена на рис. 2. Розрахунки виконано для заводу потужністю 3000 тонн за добу з випарними апаратами Роберта, поверхнею теплообміну, відповідно, 2360, 3000, 2120, 1800, 1000 м². За оптимального п'єзометричного рівня маса рідини в апаратах становить, відповідно, 12, 17, 14, 15, 10 тонн, а маса металу самих випарних апаратів — 51,4; 71; 48,8; 43,56; 12,16 тонн відповідно.

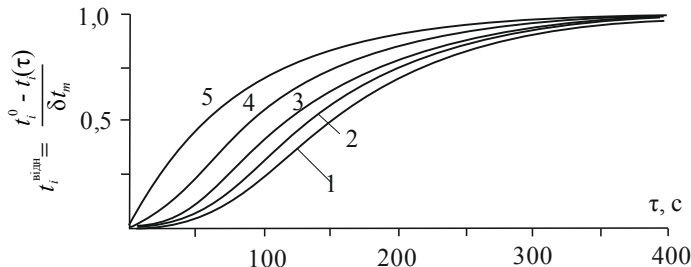


Рис. 2. Відносна зміна температурного напору по корпусах при відкритті засувки на конденсатор: 1 — 1 корпус ВУ; 2 — 2; 3 — 3; 4 — 4; 5 — 5

У разі, якщо ВУ укомплектована плівковими випарними апаратами, коефіцієнт теплопередачі хвостових корпусів ВУ зростає, а кількість соку в корпусах ВУ суттєво зменшується, і, відповідно, зменшується їхня теплова інерційність.

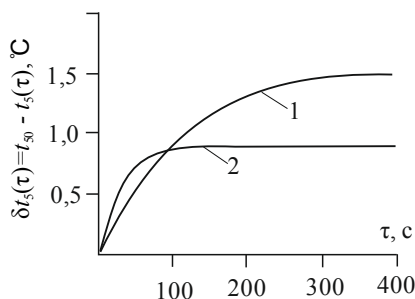


Рис. 3. Порівняння зміни температури п'ятого корпусу ВУ при відкритті засувки на конденсатор: 1 — випарний апарат Роберта, $M = 10$ тонн, $K = 600$ Вт/м²К; 2 — плівковий, $M = 2,5$ тонни, $K = 1200$ Вт/м²К

У разі підняття температури нагрівної пари на перший корпус без нанесення парового навантаження температурний напір по корпусах змінюється на однакову величину. В разі ж нанесення навантаження на конденсатор кожний корпус отримує додаткове навантаження — додатковий температурний напір. Тому сумарна зміна температури вторинної пари п'ятого корпусу складатиме суму змін на всіх попередніх корпусах ВУ. Тобто температура вторинної пари з корпусів ВУ виразиться як:

$$t_5(\tau) = t_{50} - \delta t_5(\tau) - \delta t_4(\tau) - \delta t_3(\tau) - \delta t_2(\tau) - \delta t_1(\tau) = t_{50} - \sum_1^5 \delta t_i; \quad (29)$$

$$t_4(\tau) = t_{40} - \delta t_4(\tau) - \delta t_3(\tau) - \delta t_2(\tau) - \delta t_1(\tau) = t_{40} - \sum_1^4 \delta t_i(\tau); \quad (30)$$

$$t_3(\tau) = t_{30} - \delta t_3(\tau) - \delta t_2(\tau) - \delta t_1(\tau) = t_{30} - \sum_1^3 \delta t_i(\tau); \quad (31)$$

$$t_2(\tau) = t_{20} - \delta t_2(\tau) - \delta t_1(\tau) = t_{20} - \sum_1^2 \delta t_i(\tau); \quad (32)$$

$$t_1(\tau) = t_{10} - \delta t_1(\tau), \quad (33)$$

де $t_{10}, t_{20}, t_{30}, t_{40}, t_{50}$ — температури вторинної пари з відповідних корпусів ВУ до початку нанесення збурення.

На рис. 3 надані графіки зміни температури для п'ятого корпусу з урахуванням змін температури на всіх інших корпусах за співвідношеннями (29—33) за умови, що маса соку в плівкових корпусах складає 25% від апаратів Роберта, а коефіцієнти теплопередачі на 3, 4, 5 корпусах ВУ для апаратів Роберта — $K_3 = 1300$; $K_4 = 900$; $K_5 = 600$ Вт/м²К, а для плівкових випарних апаратів $K_3 = 1800$; $K_4 = 1500$; $K_5 = 1200$ Вт/м²К відповідно.

Абсолютні значення зміни температурного напору по корпусах ВУ при відкритті засувки на конденсатор наведені на рис. 4.

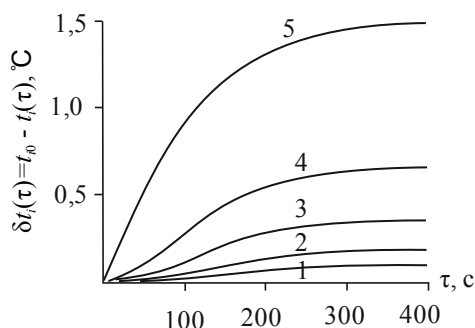


Рис. 4. Абсолютні значення зміни температурного напору по корпусах ВУ при відкритті засувки на конденсатор потужністю 500 кВт (0,63% пари) на ВУ з апаратами Роберта: 1 — 1 корпус ВУ; 2 — 2; 3 — 3; 4 — 4; 5 — 5

У разі закриття засувки на конденсатор температура вторинної пари корпусів ВУ підвищуються, а їх розрахунок здійснюється за співвідношеннями (29—33), в яких величини $\delta t_i(\tau)$ необхідно підставляти зі знаком (+).

Отримані функції коректні лише протягом перших хвилин, оскільки при зміні навантаження на конденсатор по корпусах повільно рухається концентраційна хвиля, внаслідок чого відбуваються поступові зміни коефіцієнтів тепловіддачі. Але ці зміни повільні і не проявляються в перші хвилини передавання сигналу з температурного напору.

Як видно з отриманих співвідношень, температурна інерційність випарного апарата залежить лише від параметра швидкості температурної релаксації

$$B_i = \frac{K_i F_i}{M_i C_i + M_{mi} C_m}. \text{ Формально, якщо встановити два паралельно працюючих}$$

випарних апарати замість одного, то в вдвічі зростає поверхня теплообміну і маса рідини та металу, тому параметр B не змінюється і час релаксації температурного напору також. Але реально збільшення в двічі поверхні теплообміну в апаратах Роберта призводить до відповідного зменшення теплового потоку і масового напруження теплообмінної поверхні, що викликає необхідність збільшення п'єзометричного рівня і, відповідно, маси рідини в апараті. Тому час релаксації в апаратах Роберта зростає. В плівкових випарних апаратах вміст рідини не залежить від теплового потоку, тому час релаксації не змінюється.

Висновки

1. Швидкість розповсюдження температурної хвилі по корпусах багатокорпусної випарної установки при нанесенні температурного або парового збурення залежить лише від параметра швидкості температурної релаксації

$$B_i = \frac{K_i F_i}{M_i C_i + M_{mi} C_m}.$$

2. Теплова інерційність плівкових випарних апаратів у декілька разів менша випарних апаратів Роберта внаслідок відсутності значних об'ємів розчину в корпусах і більшої інтенсивності теплопередачі у випарних апаратах хвостової частини ВУ.

3. Отримані співвідношення для розрахунку температурної хвилі під час нанесення температурного або парового збурення універсальні для будь-яких типів випарних апаратів і випарних установок.

Література

Syfert, M., Rzepiejewski, P., Wnuk, P., & Kościelny, J. M. (2005). Current diagnostics of the evaporation station. *IFAC Proceedings Volumes*, 38(1), 365—370.

Lutskaya, N. M., & Vlasenko, L. O. (2013). Development of multidimensional optimal controllers for sugarmill evaporation plant which operates in interval indetermination conditions. *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii*, 52, 48—61.

Urbaniec, K. (2004). The evolution of evaporator stations in the beet-sugar industry. *Journal of food engineering*, 61(4), 505—508.

Hrama, M., Sidletsykyi, V., & Elperin, I. (2019). Justification of the neuro-fuzzy regulation in evaporator plant control system. *Ukrainian Food Journal*, 8(4), 873—890.

Грама, М., Сідлецький, В., & Ельперін І. В. (2020), Аналіз системи автоматизації випарної установки з нейромережевим регулятором. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 26(6), 7—15.

Chantasiriwan, S. (2017). Distribution of juice heater surface for optimum performance of evaporation process in raw sugar manufacturing. *Journal of Food engineering*, 195, 21—30.

Verma, O. P., Manik, G., & Jain, V. K. (2018). Simulation and control of a complex nonlinear dynamic behavior of multi-stage evaporator using PID and Fuzzy-PID controllers. *Journal of Computational Science*, 25, 238—251.

Chowdhury, J. I., Nguyen, B. K., & Thornhill, D. (2015). Modelling of evaporator in waste heat recovery system using finite volume method and fuzzy technique. *Energies*, 8(12), 14078—14097.

Lahtinen, S. T. (2001). Identification of fuzzy controller for use with a falling-film evaporator. *Food Control*, 12(3), 175—180.

Петренко, В. П., Прядко, М. О., & Бойко, В. О. (2011). Моделювання впливу нерівномірності споживання пари вакуум-апаратами на роботу випарної установки. *Цукор України*, 12, 24—30.

RECIRCULATION SYSTEM OF ADJUSTING BY CENTRIFUGAL PUMP: SCIENTIFIC AND TECHNICAL ASPECTS OF REALIZATION

V. Filonenko

National University of Food Technologies

Key words:

*Centrifugal pump
Pump pressure pipe
Methods of adjustment
Recirculation adjustment
Recirculation pipe
diameter*

Article history:

Received 03.02.2022
Received in revised form
14.02.2022
Accepted 23.02.2022

Corresponding author:

V. Filonenko
E-mail:
ipren@ukr.net

ABSTRACT

An analytical method for determining the diameter of the recirculation pipeline in the system of recirculation control of fluid flow in the discharge pipeline and the supply of centrifugal pumps is formed in the research.

The formed technique makes it possible to determine the diameter of the recirculation pipeline and the operating range of regulation of these systems depending on the cost and geometric parameters of the system and the size of the installed pump.

The analytical substantiation of the following experimental results is received:

- for realization of recirculation system of regulation of adjusting by the pump it is possible to use only standard sizes of the pump having the falling parabolic characteristic $H = f(Q)$;
- for each size of the selected pump and each configuration of the pressure pipeline it is necessary to form (determine) an individual diameter of the recirculation pipeline;
- the use of a larger than the required diameter of the recirculation pipeline is an acceptable (but expensive) technical solution;
- the use of a smaller than the required diameter of the recirculation pipeline is an unacceptable technical solution, as it reduces the operational range of regulation;
- the higher the overpressure created by the pump, the larger the diameter of the recirculation line must be set, as the system needs to compensate for the excessive overflow of the pump with a larger recirculation fluid flow;
- the “steeper” the characteristic of the pump $H_p = f(Q_p)$, the smaller the required diameter of the recirculation pipeline, and vice versa, the closer the characteristic of the pump to the type of horizontal line, the greater the diameter of the recirculation pipeline is required;
- the “steeper” the hydraulic characteristics of the discharge pipeline, the smaller the diameter of the recirculation pipeline is required, and vice versa, the “flatter” it is, the larger the diameter of the recirculation pipeline is required.

РЕЦИРКУЛЯЦІЙНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАЧІ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА: НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ

В. М. Філоненко

Національний університет харчових технологій

У статті сформовано аналітичний метод визначення діаметра рециркуляційного трубопроводу в системі рециркуляційного регулювання витрати рідини в нагнітальному трубопроводі та подачі відцентрових насосів.

Сформована методика дає змогу визначити діаметр рециркуляційного трубопроводу та експлуатаційний діапазон регулювання вказаних систем залежно від витратних і геометричних параметрів системи та типорозміру встановленого насоса.

Аналітично обґрунтовано, що для реалізації рециркуляційної системи регулювання подачі насоса можливе застосування виключно типорозмірів насоса, що мають спадну параболічну характеристику $H = f(Q)$, а для кожного типорозміру обраного насоса і кожної конфігурації напірного трубопроводу потрібно формувати (визначати) індивідуальний діаметр рециркуляційного трубопроводу. З'ясовано, що застосування більшого за розрахунково-необхідний діаметр рециркуляційного трубопроводу є допустимим (але дороговартісним) технічним рішенням. Застосування меншого за розрахунково-необхідний діаметр рециркуляційного трубопроводу є неприпустимим технічним рішенням, оскільки воно зменшує експлуатаційний діапазон регулювання.

Доведено, що чим вищий надмірний тиск створює насос, тим більший діаметр рециркуляційного трубопроводу потрібно встановити, оскільки системі потрібно більшим рециркуляційним пропуском рідини компенсувати більшу надмірну подачу насоса. Чим краща технічна характеристика насоса $H_n = f(Q_n)$, тим менший потрібен діаметр рециркуляційного трубопроводу, і, навпаки, чим ближче характеристика насоса до виду горизонтальної лінії, тим більший діаметр рециркуляційного трубопроводу потрібен. Також визначено, що чим краща гідравлічна характеристика нагнітального трубопроводу, тим потрібен менший діаметр рециркуляційного трубопроводу і, навпаки, чим вона «пологіша» — тим більший потрібен діаметр рециркуляційного трубопроводу.

Ключові слова: відцентровий насос, нагнітальний трубопровід, методи регулювання, рециркуляційне регулювання, діаметр рециркуляційного трубопроводу.

Постановка проблеми. Метод технічної реалізації рециркуляційного регулювання подачі відцентрових насосів у частині регулювання витрати рідини в нагнітальному трубопроводі насосної установки відноситься до широко застосованих у промисловій теплоенергетиці методів регулювання і є предметом розгляду як навчальних матеріалів (Черкаський, 1984; Гейнер, Дулин & Заря, 1991; Герасимов, 2008; Рисухин, Вялых & Щурова, 2008; Рисухин, Коваленко & Соколов, 2010), так і цілого ряду наукових досліджень.

Принципова схема реалізації рециркуляційного регулювання подачі відцентрового насоса в напірний трубопровід наведена на рис. 1.

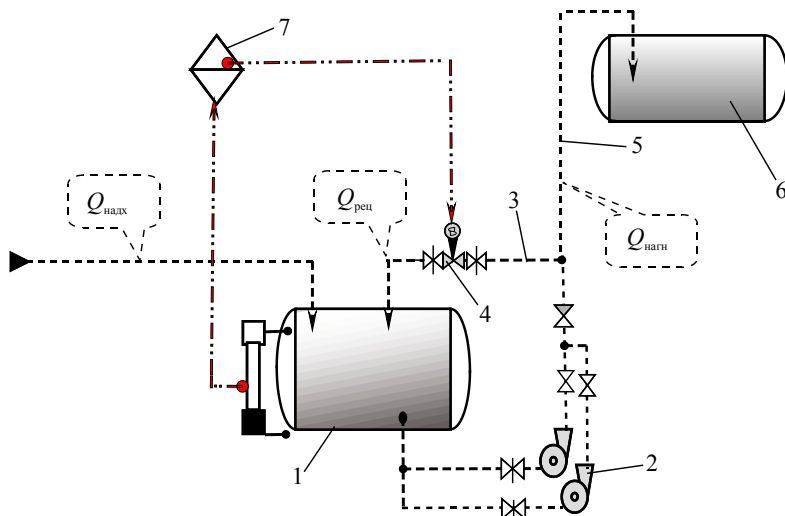


Рис. 1. Принципова схема автоматизованого рециркуляційного регулювання подачі відцентрового насоса в напірний трубопровід:

1 — приймальна ємність; 2 — насосний агрегат; 3 — рециркуляційний (байпасний) трубопровід; 4 — регулюючий орган; 5 — нагнітальний трубопровід; 6 — напірна ємність; 7 — автоматичний регулятор

Конструктивно система рециркуляційного (байпасного) регулювання сформована шляхом повернення частини рідини з нагнітального трубопроводу в приймальну ємність.

Необхідність регулювання витрати рідини в нагнітальному трубопроводі з метою її стабілізації обумовлена двома експлуатаційними факторами:

- періодичною (обумовленою технологією виробництва) зміною в часі надходження рідини (конденсату, води, рідкого продукту) — $Q_{\text{надх}}$ у приймальну ємність;

- взаємною невідповідністю гідравлічної характеристики встановленого насоса — $H_n = f(Q_n)$ гідравлічним параметрам трубопровідної системи, в структурі якої експлуатується насос, а саме: $Q_{\text{потр}}$ — потрібному (регламентному) пропуску рідини через нагнітальний трубопровід і $H_{\text{потр}}$ — регламентному опору нагнітального трубопроводу.

Ознакою наявності обох факторів у реальній насосній установці є перевищення в системі координат $H-Q$, характеристики насоса відносно робочої точки нагнітального трубопроводу — $R_{\text{потр}}$, і створення насосом надмірного напору — $\Delta H_{\text{надм}}$ (рис. 2).

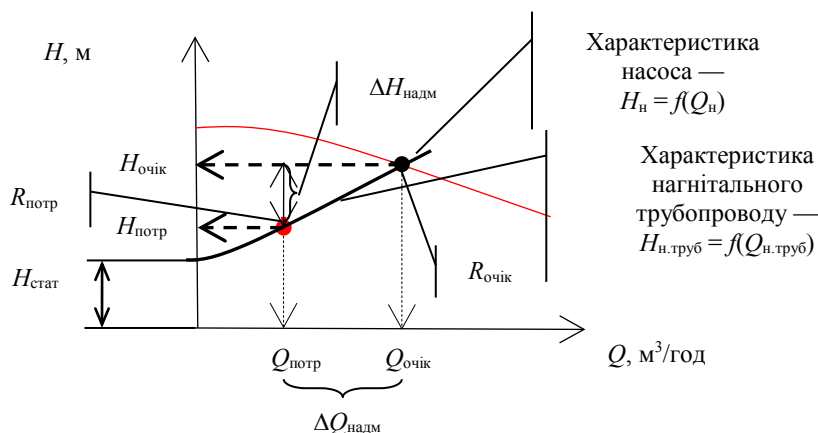


Рис. 2. Графічне зображення створення насосом надмірного напору $\Delta H_{\text{надм}}$, надмірної подачі $\Delta Q_{\text{надм}}$ в нагнітальному трубопроводі: $R_{\text{потр}}$ — положення робочої точки нагнітального трубопроводу; $R_{\text{очік}}$ — очікуване положення робочої точки насосної установки; $H_{\text{потр}}$ — потрібний напір насоса для подолання гідравлічного опору нагнітального трубопроводу; $H_{\text{стат}}$ — статичний напір нагнітального трубопроводу

За цієї умови, надмірний (очікуваний) напір насоса $H_{\text{очік}}$, перевищуючи гідравлічний опір нагнітального трубопроводу $H_{\text{потр}}$, створює надмірну подачу насоса $\Delta Q_{\text{надм}}$ й обумовлює спорожнення приймальної ємності, яке викликає експлуатаційні проблеми для насосної установки — кавітаційні явища та гідравлічні удари.

Чим вищий надлишковий тиск, що створює насос $\Delta H_{\text{надм}}$, тим більшу проблему створює вибір встановленого типорозміру насоса і тим більша енергоємність насосної установки з огляду на структуру розрахункової формули, що визначає спожиту потужність електроприводу насоса $W_{\text{е.пр}}^{\text{н}}$, кВт(е), (Черкаський, 1984):

$$W_{\text{е.пр}} = (Q_{\text{потр}} + \Delta Q_{\text{реци}}) \cdot (H_{\text{потр}} + \Delta H_{\text{надм}}) \cdot \rho_{\text{рід}} \cdot g \cdot 10^{-3} / (3600 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{е.пр}}), \quad (1)$$

де $Q_{\text{потр}}$ — технологічно обумовлений (потрібний) пропуск рідини через нагнітальний трубопровід, м³/год; $\Delta Q_{\text{реци}}$ — додатковий пропуск рідини через рециркуляційний трубопровід, м³/год; $H_{\text{потр}}$ — напір насоса, потрібний для подолання гідравлічного опору напірного трубопроводу з урахуванням гідростатики трубопроводної системи, м в.д.ст; $\Delta H_{\text{надм}}$ — надмірний напір (тиск), створений насосом для подолання гідравлічного опору напірного трубопроводу, м в.д.ст; $\rho_{\text{рід}}$ — питома густина рідини, кг/м³; g — прискорення земного тяжіння, м/с²; 10^{-3} — коефіцієнт кореляції одиниць потужності, Вт/кВт; 3600 — коефіцієнт кореляції одиниць часу, с/год; $\eta_{\text{н}}$ — механічний ККД насоса, од; $\eta_{\text{е.пр}}$ — експлуатаційний електричний ККД електроприводу насоса, од.

Певна річ, система регулювання подачі насоса, яка гарантує під час регулювання мінімізацію приросту подачі ($\Delta Q_{\text{реци}}$) і напору ($\Delta H_{\text{надм}}$) насоса, в енергетичному сенсі є найефективнішою.

У статті пропонується аналітичне визначення діаметра $d_{\text{реци}}$, яке може розглядатися як подальше поглиблення розуміння проблеми рециркуляційного підтримання стабільної подачі рідини в нагнітальному трубопроводі.

Досвід експлуатації рециркуляційних систем регулювання подачі насосів засвідчив, що завищений діаметр рециркуляційного трубопроводу і його регулюючого органу (РО) призводить до фінансових перевитрат на формування системи регулювання, а занижений його діаметр — до періодичного спустошення прийомної ємності і виникнення неприйнятних експлуатаційних гідродинамічних проблем для експлуатаційного персоналу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі і знайшли застосування в промисловості технічні рішення, що вирішують проблему регулювання подачі насоса і базуються або на корекції гідравлічної характеристики трубопровідної системи, або на корекції характеристики насоса (Черкаський, 1984; Гейнер, Дулин & Заря 1991; Герасимов, 2008):

- дроселювання нагнітального трубопроводу встановленим на ньому автоматизованим регулюючим органом (РО) — клапаном або засувкою;
- дроселювання рециркуляційного (байпасного) трубопроводу встановленим на ньому автоматизованим РО;
- застосування ряду систем автоматизованого зменшення числа обертів приводу насоса (електрочастотного, редукторного, варіаторного, на базі гідравлічної або магнітогідродинамічної муфти);
- використанням комбінації з двох-трьох насосів, які працюють паралельно.

Кожен з наведених методів має як переваги, так і недоліки, які висвітлено в (Николенко & Швагирев, 2015; Николенко, Рыжаков & Уваров, 2016; Шилин, Шрейдер & Мороз, 1965).

Використання рециркуляційної системи регулювання приваблює своєю надійністю та довговічністю елементів своєї конструкції. Недоліком її є завищена енергоємність унаслідок збільшення подачі насоса і зменшення його експлуатаційного ККД, незважаючи на суттєве зменшення напору насоса.

Але в разі незначного надмірного напору в насосній установці система, завдяки перевагам (насамперед фінансовим) набула застосування в промисловій теплоенергетиці: в системах подачі рідини для концентрування у випарних установок, у системах зачистки баластних ємностей суден морського і річкового флоту (Подволоцкий, 2013; Подволоцкий, 2017), в системах збору і відведення конденсату в котельних і ТЕЦ (Филоненко & Цыганков, 2012).

Вказані об'єкти мають систему приймальних ємностей і для них енергетичний і фінансовий аспекти проблеми відкачування рідин і стабілізації роботи насосних установок є важливими.

Враховуючи наявність таких факторів, як вартість споживаної електроенергії для приводу насосів, вартість системи регулювання і рівень її амортизаційних відрахувань, які відносяться на собівартість транспортування рідини, річну тривалість експлуатації системи, строк служби регулюючого органу, фінансові затрати на поточну експлуатацію та ремонт, система рециркуляційного регулювання, завдяки дешевизні й експлуатаційній довговічності її структурних елементів, набуває фінансових переваг.

За своєю конфігурацією система рециркуляційного регулювання — насос, приймальна ємність, нагнітальний і циркуляційний трубопровід, є гідравлічно взаємопов'язаною системою.

У цій системі проблеми визначення діаметра рециркуляційного трубопроводу $d_{\text{рец}}$ і пропуску рідини через нього $G_{\text{рец}}$, враховуючи той факт, що інші параметри системи регулювання визначаються незалежними зовнішніми факторами, є ключовими завданнями, які потребують науково-обґрунтованого аналітичного розв'язання.

Аналізу та розрахунку рециркуляційної системи регулювання подачі відцентрових насосів присвячена значна кількість публікацій (Бешта & Азюковский, 2009; Гимер & Муж, 2012; Мрочек В., Мрочек Т. & Бураков, 2012; Николенко, Сафонов & Пастушенко, 2012; Рисухин, 2009; Cassada, 2000; Moreno, Carrion, Plannels, Ortega & Tarjuelo 2007; Saidur & Mahlia, 2011), у яких сформовані методи аналітичного або графічного визначення значної кількості експлуатаційних параметрів.

Але публікацій, присвячених визначенню належного діаметра рециркуляційних трубопроводів, не виявлено. В означених вище дослідженнях діаметр рециркуляційного трубопроводу вважається або заздалегідь відомим, або завдання дослідження не передбачають його визначення.

Як засвідчили результати власних досліджень системи рециркуляційного регулювання подачі насоса і пропуску рідини через нагнітальний трубопровід, за відсутності методу визначення належного діаметра рециркуляційного трубопроводу система не в змозі підтримати рівень рідини в приймальній ємності та стабілізувати витрату в нагнітальному трубопроводі, створюючи експлуатаційні проблеми:

- у разі встановлення діаметра, меншого за потрібний, насос «спустошує» приймальну ємність до нульового рівня в ньому рідини;
- у разі встановлення діаметра, більшого за потрібний, приймальна ємність насоса переповнюється.

Аналіз публікацій в науковій і технічній літературі (Подволоцкий, 2017; Филоненко & Цыганков, 2017) не виявив методик, які б дали змогу на етапі проєктування системи рециркуляційного регулювання визначити діаметр рециркуляційного трубопроводу.

Виявлені рекомендації щодо визначення діаметра рециркуляційного трубопроводу обмежуються розглядом циркуляційних систем гарячого водопостачання і проблема аналізується в аспекті переміщення рідини по замкненому контуру з можливістю відбору її із цього кільця.

Автори навчальних посібників і підручників обмежуються наведенням принципів схем систем рециркуляційного регулювання та гідравлічних характеристик їх складових без аналітичного визначення ключових параметрів і розмірів, не враховуючи наявності статичного напору в нагнітальних трубопроводах. Розгляд проблеми обмежується визначенням втрат у рециркуляційному та нагнітальному трубопроводах, побудовою п'єзометричних графіків насосних установок і не передбачає визначення діаметра рециркуляційного трубопроводу, який використовується для визначення наведених параметрів.

На сьогодні існуюча система рекомендацій, які можна використати для формування рециркуляційної системи регулювання подачі насоса, передбачає визначення діаметра рециркуляційного трубопроводу $d_{\text{рец}}$:

- рекомендацію визначати діаметр $d_{\text{рец}}$ на етапі проєктування в розмірі (20—36)% від діаметра нагнітального трубопроводу $d_{\text{нагн}}$ (Філоненко, 2017);
- рекомендацію визначати $d_{\text{рец}}$ методом поступових наближень у монтажі системи від меншого до більшого діаметра, «зупинившись» на діаметрі, що задовольняє конкретні умови (довжину, висоту, діаметр, місцеві опори) напірного трубопроводу (Подволоцкий, 2017).

На нашу думку, визначення діаметра рециркуляційного трубопроводу $d_{\text{рец}}$ набуває статусу проблеми науково-технічного характеру, яка потребує аналітичного розв'язання, оскільки неадекватне його встановлення призводить до суттєвих експлуатаційних і фінансових проблем.

Мета дослідження: аналітичне визначення науково обґрунтованого діаметра рециркуляційного трубопроводу і його регулюючого органу в системі рециркуляційного регулювання подачі відцентрових насосів в умовах визначених експлуатаційних параметрів насосної установки.

Матеріали і методи. Автором використані:

- матеріали власних експериментальних досліджень насосних установок для відкачування конденсатів, обладнаних системою рециркуляційного регулювання;
- методи графічної інтерпретації взаємодії гідравлічних характеристик насосів і трубопроводів;
- методи аналітичного визначення експлуатаційних параметрів насосів (потужності, подачі, напору, ККД);
- метод аналітичної інтерполяції графічної характеристики насосів;
- заводські характеристики насосів;
- довідкові дані з місцевих гідравлічних опорів трубопроводів.

Результати і обговорення. Проведені експериментальні дослідження насосних установок для відведення конденсату з теплообмінного обладнання цукрового заводу з насосами, які мають нисхідну параболічну (насос СOT-150) та близьку до горизонтальної (насос СКМ-60-250) характеристики $H_n = f(Q_n)$ (рис. 3).

Нагнітальні трубопроводи мають або нульову, або значну (до 25 м в.д.ст) статичну гідравлічного опору (рис. 4). Приймальні ємності обладнані автоматизованою системою підтримання рівня рідини.

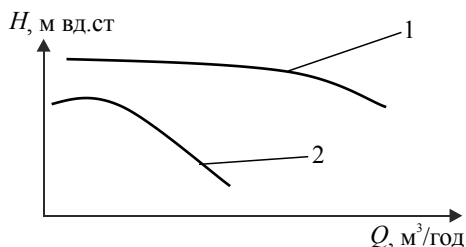


Рис. 3. Характеристики відцентрових насосів $H_n = f(Q_n)$:
1 — насос СКМ-60-250; 2 — насос СOT 150)

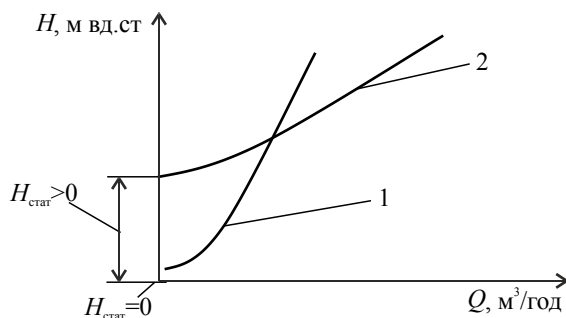


Рис. 4. Характерні форми гідравлічних характеристик нагнітальних трубопроводів $H_{н.тр} = f(Q_{н.тр})$: 1, 2 — трубопровід, відповідно, з нульовим і позитивним статичним напором

Встановлено, що визначальною умовою функціонування рециркуляційної системи регулювання подачі насоса є наявність властивості зменшувати (збільшувати) створюваний напір у разі збільшення (зменшення) подачі, що проявляється у параболічній формі його характеристики $H_n = f(Q_n)$.

Вказаною здатністю не володіють насоси з наближеною до горизонтальної характеристикою $H_n = f(Q_n)$, тому для реалізації системи рециркуляційного регулювання подачі насоса застосовуються виключно насоси, що мають параболічні характеристики $H_n = f(Q_n)$ з ознакою краща характеристика — енергоощадливіша система.

Графічна інтерпретації спільної роботи насоса, нагнітального трубопроводу і рециркуляційного трубопроводу, діаметр якого менший чи більший за належний, наведена, відповідно, на рис. 5 і рис. 6.

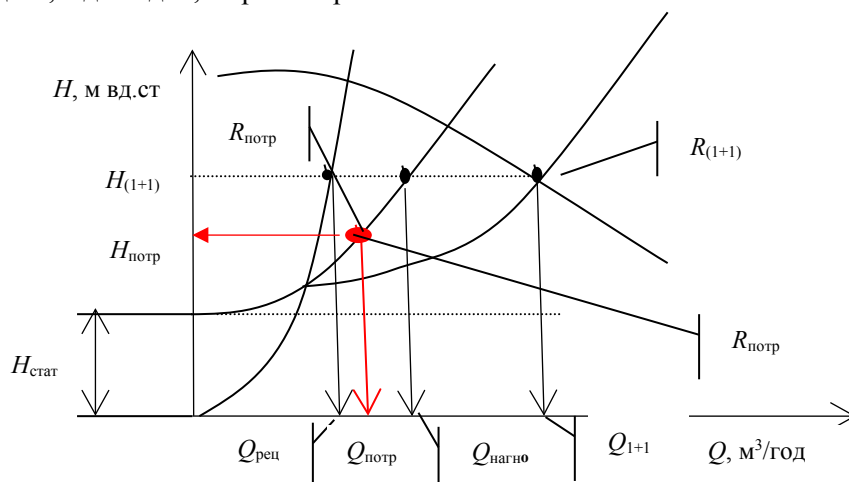


Рис. 5. Графічна інтерпретація параметрів системи за умови меншого (за потрібний) діаметра рециркуляційного трубопроводу: 1 — характеристика рециркуляційного трубопроводу; 2 — характеристика нагнітального трубопроводу; 3 — спільна характеристика нагнітального і рециркуляційного трубопроводів

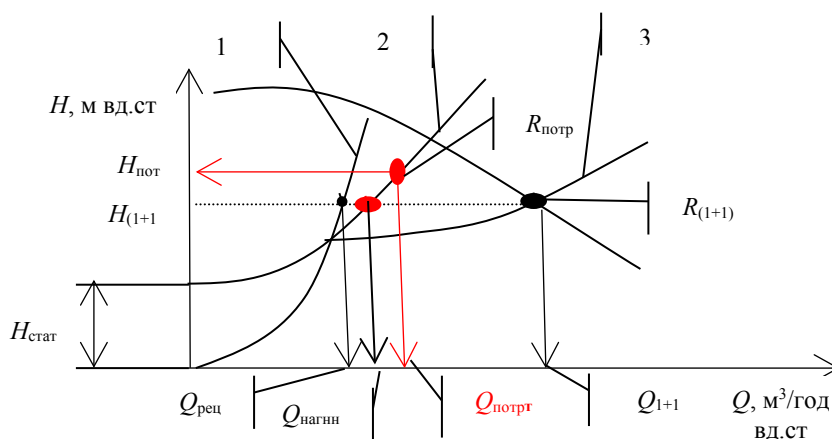


Рис. 6. Графічна інтерпретація параметрів системи за умови більшого (за потрібний) діаметра рециркуляційного трубопроводу: 1 — характеристика рециркуляційного трубопроводу; 2 — характеристика нагнітального трубопроводу; 3 — спільна характеристика нагнітального і рециркуляційного трубопроводів

Аналіз розглянутих варіантів системи засвідчив:

- менший (за належний) діаметр рециркуляційного трубопроводу обумовлює перевищення витрати рідини в нагнітальному трубопроводі над потрібною (регламентною) витратою — $Q_{\text{нагн}} > Q_{\text{потр}}$;

- більший (за належний) діаметр рециркуляційного трубопроводу обумовлює меншу витрату рідини в нагнітальному трубопроводі від потрібної (регламентної) витрати — $Q_{\text{нагн}} < Q_{\text{потр}}$.

І тільки встановлення рециркуляційного трубопроводу належного діаметра $d_{\text{рец}}^{\text{потр}}$, що врівноважує гідравлічні опори складових системи, відповідно до співвідношення (1), гарантує взаємну відповідність (рівність) витрати рідини в нагнітальному трубопроводі потрібній (регламентній) витраті — $Q_{\text{нагн}} = Q_{\text{потр}}$ (рис. 7).

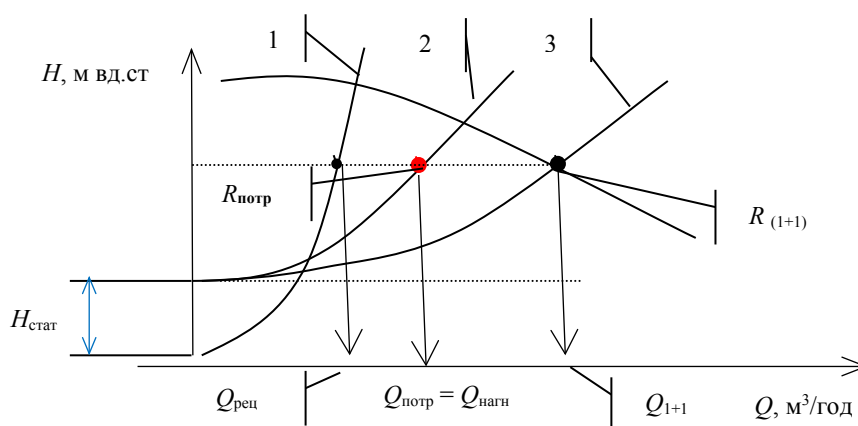


Рис. 7. Графічна інтерпретація параметрів системи за умови належного діаметра рециркуляційного трубопроводу: 1 — характеристика рециркуляційного трубопроводу; 2 — характеристика нагнітального трубопроводу; 3 — спільна характеристика нагнітального і рециркуляційного трубопроводів

Результатом проведеного дослідження стало створення науково-обґрунтованого методу визначення проектно-розрахункового діаметра рециркуляційного трубопроводу для автоматизованої системи регулювання подачі відцентрових насосів.

Система рециркуляційного регулювання пропуску рідини через нагнітальний трубопровід подачі насоса розглядається як гідравлічно врівноважена трубопровідна система зі взаємопов'язаними параметрами для кожного положення робочої точки насосної установки, яка характеризується таким співвідношенням:

$$H_{\text{потр}} = \Delta H_{\text{нагн}} = \Delta H_{\text{рец}} = H_{\text{н}}, \quad (1)$$

де $H_{\text{потр}}$ — розрахунковий гідравлічний опір трубопровідної системи (нагнітального і рециркуляційного), м в.ст.; $\Delta H_{\text{нагн}}$ — гідравлічний опір нагнітального трубопроводу, м в.ст.; $\Delta H_{\text{рец}}$ — гідравлічний опір рециркуляційного трубопроводу; $H_{\text{н}}$ — напір, який створює насос, м в.ст.

Використання наведеного співвідношення із формуванням аналітичних виразів для кожної складової формули (1) дає змогу визначити діаметр рециркуляційного трубопроводу $d_{\text{рец}}$, м, який гідравлічно врівноважує трубопровідну систему для відомих на етапі проектування геометричних параметрів системи регулювання.

Положення сформованої методики викладені нижче:

1. Встановити за технологічним регламентом виробництва середньогодинне надходження рідини в приймальну ємність насоса числове значення $Q_{\text{надх}}$, м³/год.

2. Встановити мінімально можливе експлуатаційне надходження рідини в приймальну ємність $Q_{\text{надх}}^{\text{мін}}$, м³/год, що відповідатиме мінімально можливій експлуатаційній витраті рідини в нагнітальному трубопроводі, і вважати його розрахунковим для визначення розрахункового (максимального) діаметра рециркуляційного трубопроводу за рівнянням:

$$Q_{\text{надх}}^{\text{мін}} = Q_{\text{нагн}}^{\text{мін}} = 0,8 \cdot Q_{\text{надх}}. \quad (2)$$

3. Визначити розрахункову (з метою визначення максимального діаметра рециркуляційного трубопроводу) мінімальну витрату рідини в нагнітальному трубопроводі $Q_{\text{потр}}$, м³/год за співвідношенням:

$$Q_{\text{потр}} = Q_{\text{надх}}^{\text{мін}} = Q_{\text{нагн}}^{\text{мін}}. \quad (3)$$

4. Визначити максимально можливе надходження рідини в приймальну ємність $Q_{\text{надх}}^{\text{макс}}$, м³/год, що відповідатиме максимально можливій експлуатаційній витраті рідини в нагнітальному трубопроводі, і вважати його максимальною подачею насоса $Q_{\text{н}}^{\text{макс}}$.

5. Визначити очікуваний експлуатаційний діапазон регулювання витрати рідини через нагнітальний трубопровід — від $Q_{\text{нагн}}^{\text{мін}}$ до $Q_{\text{н}}^{\text{макс}}$ і підтвердити його відповідність ймовірним експлуатаційним режимам виробництва, де $Q_{\text{нагн}}^{\text{мін}}$ — мінімальна витрата рідини в нагнітальному трубопроводі за умови повністю відкритого РО на рециркуляційному трубопроводі і роботі насоса на обидва трубопроводи (нагнітальний і рециркуляційний); $Q_{\text{н}}^{\text{макс}}$ — максимальна витрата рідини в нагнітальному трубопроводі за умови повністю закритого РО на рециркуляційному трубопроводі і роботі насоса на один нагнітальний трубопровід.

6. Визначити за рівнянням Дарсі-Вейсбаха гідравлічні опори нагнітального трубопроводу $H_{\text{потр}}$ і $H_{\text{потр}}^{\text{макс}}$ для двох витрат: розрахункової (мінімальної) витрати рідини — $Q_{\text{потр}}$; максимальної витрати рідини — $Q_{\text{н}}^{\text{макс}}$ з урахуванням його

діаметра, довжини, гідростатичного напору та місцевих опорів і встановити два положення робочої точки нагнітального трубопроводу — $R_{\text{потр}}$ і $R_{\text{потр}}^{\text{макс}}$ в системі координат « H - Q ».

7. Встановити типорозмір насоса в системі подачі рідини, передбачивши певний (10%—20%) надмірний напір насоса $H_{\text{очік}}$ відносно положення $R_{\text{потр}}^{\text{макс}}$ (рис. 8).

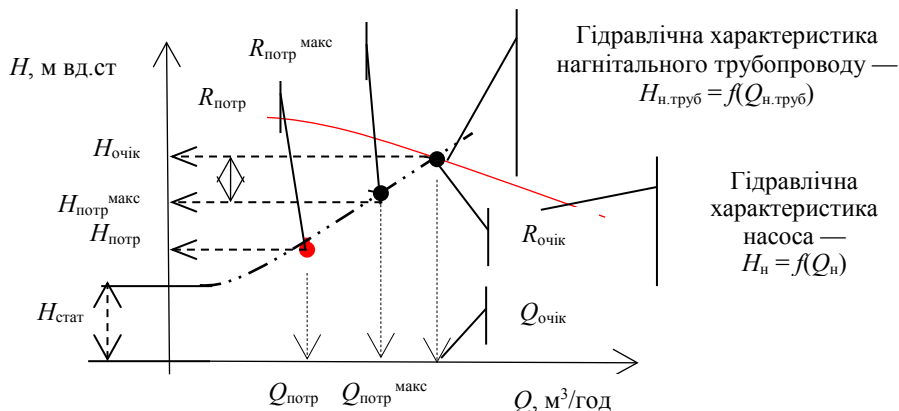


Рис. 8. Формування робочих точок нагнітального трубопроводу для вибору типорозміру насоса для в системі рециркуляційного регулювання

8. Сформувати (за допомогою ресурсу Excel) аналітичну форму характеристики $H_n = f(Q_n)$ встановленого (або запланованого до встановлення) насоса у вигляді квадратного полінома:

$$y = (-)a \cdot x^2 (+/-) b \cdot x + c, \quad (4)$$

де y — поточний напір насоса — H , м в.д.ст.; x — поточна подача насоса — Q , м³/год; a — коефіцієнт при x^2 ; b — коефіцієнт при x ; c — напір H_n^0 , що створює насос у разі нульової подачі, м в.д.ст.

9. Представити поліном характеристики насоса (4) у вигляді квадратного рівняння гідравлічної характеристики $H_n = f(Q_n)$, «ідентифікувавши» його відносно робочої точки насосної установки $R_{\text{потр}}$ (з координатами $H_{\text{потр}}$ і $Q_{\text{потр}}$), шляхом заміни змінної « y » відомим числовим значенням $H_{\text{потр}}$, змінної « x » параметром — Q_n , а коефіцієнта c — числовим значенням H_n^0 , прирівнявши отриманий математичний вираз до 0.

У результаті буде отримано квадратне рівняння характеристики насоса:

$$(-) \alpha \cdot Q_n^2 + \beta \cdot Q_n + (c - H_{\text{потр}}) = 0, \quad (5)$$

що розв'язується стандартним методом відносно параметра Q_n , який отримає статус сумарної подачі насоса на два (нагнітальний і рециркуляційний) трубопроводу Q_{1+1} . Наприклад, для насоса Д800-57 отримано (за допомогою ресурсу Excel) квадратний поліном гідравлічної характеристики насоса:

$$y = -4,0 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0,0257 \cdot x + 63,3.$$

Ідентифікація полінома відносно числового значення $H_{\text{потр}} = 45$ має вигляд квадратного рівняння гідравлічної характеристики насосної установки:

$$(-)4,0 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 + 0,0257 \cdot Q + 18,3 = 0.$$

10. Знайти, розв'язавши отримане рівняння, подачу насоса Q_{1+1} , тобто сумарну витрату рідини для рециркуляційного і напірного трубопроводів, використавши позитивний корінь рівняння:

$$Q_{1+1} = -b \cdot (+/-) \sqrt{\frac{b - 4 \cdot a \cdot C^*}{2 \cdot a}}, \quad (6)$$

де b — числовий коефіцієнт при Q в квадратному рівнянні (5); a — числовий коефіцієнт при Q^2 в квадратному рівнянні (5); $C^* = (c - H_{\text{потр}})$ — числовий коефіцієнт в квадратному рівнянні (5).

11. Визначити потрібний пропуск рідини через рециркуляційний трубопровід $Q_{\text{рец}}$, м³/год, який гідравлічно врівноважить пропуск рідини через нагнітальний трубопровід, за балансовим рівнянням:

$$Q_{\text{рец}} = Q_{1+1} - Q_{\text{потр}}. \quad (7)$$

12. Визначити внутрішній діаметр рециркуляційного трубопроводу $d_{\text{рец}}^{\text{потр}}$ згідно з рівнянням Дарсі-Вейсбаха за формулою:

$$d_{\text{рец}}^{\text{потр}} = \sqrt[5]{6,26 \cdot 10^{-7} \cdot 1,1 \cdot \lambda_{\text{рец}} \cdot (L_{\text{рец}} + L_{\text{рец}}^{\text{екв}}) \cdot Q_{\text{рец}}^2 / (\rho_{\text{рід}} \cdot H_{\text{потр}} / 10,0)}, \quad (8)$$

де $6,26 \cdot 10^{-7}$ — коефіцієнт, що корелює параметри формули (8); 1,1 — проектно-розрахунковий коефіцієнт, од; $\lambda_{\text{рец}}$ — коефіцієнт гідравлічної шорсткості рециркуляційного трубопроводу, од; $L_{\text{рец}}$ — довжина рециркуляційного трубопроводу, м; $L_{\text{рец}}^{\text{екв}}$ — зведене до діаметра рециркуляційного трубопроводу значення коефіцієнта гідравлічного опору всіх місцевих опорів рециркуляційного трубопроводу з урахуванням 100% відкритого рециркуляційного органу, м. Визначається за формулою $L_{\text{рец}}^{\text{екв}} = \sum \zeta_{\text{рец}}^{\text{м.о}} \cdot d_{\text{рец}}^{\text{потр}} / \lambda_{\text{рец}}$; $Q_{\text{рец}}$ — розрахунковий пропуск рідини через рециркуляційний трубопровід, м³/год; $\rho_{\text{рід}}$ — питома густина рідини, кг/м³;

$H_{\text{потр}}$ — проектно-розрахунковий гідравлічний опір нагнітального трубопроводу із врахуванням його статичного напору (статики), м.вд.ст.; 10,0 — коефіцієнт, еквівалентний виразу $\rho_{\text{рід}} \cdot g \cdot 10^{-3}$, який міститься в структурі формули (8).

Використання формули (8) передбачає застосування не більше трьох послідовних наближень у частині визначення числового значення $L_{\text{екв}}$, м, підбираючи його значення в діапазоні (1,0—5,0) м, за формулою:

$$L_{\text{екв}} = \sum \zeta_{\text{м.о}} \cdot d_{\text{рец}}^{\text{мін}} / \lambda_{\text{рец}}. \quad (9)$$

13. За визначеним розрахунковим внутрішнім діаметром рециркуляційного трубопроводу $d_{\text{рец}}^{\text{потр}}$ підібрати стандартний трубопровід, згідно з ДСТУ, дотримавшись умови: $(d_{\text{вн}}^{\text{ДСТУ}})_{\text{рец}} \geq d_{\text{рец}}^{\text{потр}}$.

Збільшення відносно $d_{\text{рец}}^{\text{потр}}$ діаметра рециркуляційного трубопроводу (зменшення його гідравлічного опору) є допустимим, оскільки активізація (в сторону прикривання) ОР збільшить гідравлічний опір трубопроводу до проектно-розрахункового рівня.

14. Сформована у такий спосіб система регулювання, підтримуючи належний рівень рідини в приймальній ємності здатна регулювати подачу рідини в нагнітальний трубопровід від заданого експлуатаційного мінімуму $Q_{\text{надх}}^{\text{мін}}$ (за умови 100% відкритого РК) до експлуатаційного максимуму, визначеному режимом роботи насоса виключно на нагнітальний трубопровід $Q_{\text{нагн}}^{\text{макс}}$ (за умови повністю закритого РО).

15. Діаметр РО (клапана або засувки) на рециркуляційному трубопроводі, як правило, встановлюється рівним діаметру трубопроводу:

$$(D_y)_{PO_{\text{рец}}} = (D_y^{\text{дисту}})_{\text{рец}}. \quad (10)$$

16. Встановлення діаметра $PO_{\text{рец}}$ меншим за проєктно-розрахунковий, збільшуючи гідравлічний опір рециркуляційного трубопроводу, зменшує пропуск рідини через рециркуляційний трубопровід, чим обмежує проєктно-розрахунковий діапазон регулювання подачі насоса через нагнітальний трубопровід і є небажаним технічним рішенням.

Результати дослідження впроваджені у виробництво і засвідчили дієвість сконструйованої системи регулювання.

Одержані результати дослідження дали змогу визначити вплив експлуатаційних параметрів системи рециркуляційного регулювання на величину діаметра і діапазон регулювання рециркуляційного трубопроводу.

Результати відповідного дослідження наведені нижче.

Вплив взаємного розташування положення робочої точки нагнітального трубопроводу — $R_{\text{потр}}$ і характеристики $H_n = f(Q_n)$ насоса. Проєктно-експлуатаційна практика засвідчує, що залежно від типу обраного насоса і гідравлічного опору нагнітального трубопроводу взаємне розташування $R_{\text{потр}}$, відносно характеристики насоса $H_n = f(Q_n)$, а, відповідно, надмірний напір насоса — $\Delta H_{\text{надм}}$, може бути як незначним ($H'_{\text{надм}}$), так і значним ($H''_{\text{надм}}$) (рис. 6).

Встановлено, що за умови незмінного пропуску рідини через нагнітальний трубопровід:

- фактор зростання $\Delta H_{\text{надм}}$, тобто зниження гідравлічного опору нагнітального трубопроводу, «вимагає» для системи регулювання збільшення діаметра рециркуляційного трубопроводу;

- фактор зменшення $\Delta H_{\text{надм}}$, тобто збільшення гідравлічного опору нагнітального трубопроводу «вимагає» зменшення діаметра рециркуляційного трубопроводу.

Вплив діаметра рециркуляційного трубопроводу. Збільшення діаметра рециркуляційного трубопроводу, зменшуючи гідравлічний опір трубопровідної системи і збільшуючи пропуск рідини через рециркуляційний трубопровід, зменшує пропуск через нагнітальний трубопровід і збільшує діапазон регулювання, і навпаки.

Вплив форми характеристики насоса. Залежно від конфігурації лопатей робочих коліс відцентрових насосів їхні гідравлічні характеристики можуть мати вигляд параболічних ліній і ліній, наближених до горизонтальних.

Оскільки основоположним принципом рециркуляційної системи регулювання подачі насоса є гідравлічний перерозподіл пропусків рідини між рециркуляційним і нагнітальним трубопроводами, то:

- виключно насоси зі спадною параболічною характеристикою $H_n = f(Q_n)$, зменшуючи подачу насоса в разі збільшення гідравлічного опору трубопровідної системи і збільшуючи подачу насоса в разі його зменшення, забезпечують гідравлічну умову, потрібну для формування належного розподілу рідини між рециркуляційним та напірним трубопроводами, і функціонування означеної системи регулювання;

- насоси з гідравлічною характеристикою $H_n = f(Q_n)$, наближеною до горизонтальної лінії, не зменшують свій напір у разі зменшення або збільшення гідравлічного опору трубопровідної системи і не забезпечують гідравлічної умови, потрібної для формування належного розподілу рідини між рециркуляційним та напірним трубопроводами, і не можуть бути застосовані в системі рециркуляційного регулювання подачі насоса.

Вплив положення регулюючого органа (РО) системи. Вплив положення РО на рециркуляційному трубопроводі, який, змінюючи гідравлічний опір рециркуляційного трубопроводу, змінює через нього пропуск рідини, залежить від форми гідравлічної характеристики насоса.

У разі наявного в обраного типорозміру насоса параболічної характеристики $H_{\text{нагн}} = f(Q_{\text{нагн}})$ положення РО, зменшуючи (збільшуючи) подачу насоса, одночасно збільшує (зменшує) напір насоса, чим формує передумови для існування системи рециркуляційного регулювання.

У разі наявного в обраного типорозміру насоса горизонтальної характеристики $H_{\text{нагн}} = f(Q_{\text{нагн}})$ положення РО, зменшуючи (збільшуючи) подачу насоса, не змінює напір насоса, чим унеможливорює створення гідравлічних передумов існування системи рециркуляційного регулювання.

Отже, рециркуляційна система регулювання подачі насоса має формуватися тільки при застосуванні насосів зі спадною параболічною характеристикою $H_n = f(Q_n)$.

Повністю закритий РО формує нульовий пропуск через рециркуляційний трубопровід і максимальну подачу через нагнітальний трубопровід $Q_{\text{нагн}}^{\text{макс}}$. Повністю відкритий РО формує максимальний пропуск через рециркуляційний трубопровід і мінімальну подачу через нагнітальний трубопровід $Q_{\text{нагн}}^{\text{мін}}$. Проміжне положення РО формує експлуатаційний діапазон регулювання подачі рідини в нагнітальному трубопроводі.

Вплив статичного напору гідравлічної характеристики нагнітального трубопроводу. Чим вищий статичний напір гідравлічної характеристики нагнітального трубопроводу, тим більшого діаметра рециркуляційного трубопроводу вимагає система регулювання і тим менший діапазон регулювання системи.

Вплив «кривизни» гідравлічної характеристики нагнітального трубопроводу. Чим краща гідравлічна характеристика нагнітального трубопроводу:

- тим вищий гідравлічний опір (1+1) системи регулювання і вищий напір, що створює насос і менша подача насоса (1+1);
- тим меншого діаметра труб вимагає система або більшого ступеня закриття РО на існуючій системі;
- тим вузький діапазон регулювання системою пропуску рідини через нагнітальний трубопровід.

Чим «пологіша» гідравлічна характеристика нагнітального трубопроводу:

- тим менший гідравлічний опір (1+1) системи регулювання і менший напір, що створює насос і вища подача насоса (1+1);
- тим більший діаметр рециркуляційного трубопроводу;
- тим більший діапазон регулювання системою пропуску рідини через нагнітальний трубопровід.

Створення методології дало змогу сформулювати експлуатаційні рекомендації:

- у разі втрати рівня рідини в приймальній ємності (існуюча система регулювання не тримає належний рівень за умови 100% відкритого РО) потрібно збільшити діаметр рециркуляційного трубопроводу;

- у разі переповнення приймальної ємності (існуюча система регулювання не тримає належний рівень за умови повністю закритого РО) потрібно обрати інший типорозмір насоса з характеристикою, що відповідає певному (на 20—30%) перевищенню його номінальної подачі над регламентним надходженням рідини $Q_{\text{надх}}^{\text{регл}}$.

Висновки

1. Для реалізації рециркуляційної системи регулювання подачі насоса можливе застосування виключно типорозмірів насоса, що мають параболічну (нисхідну) характеристику $H_n = f(Q_n)$.

2. Для кожного типорозміру обраного насоса і кожної гідравлічної характеристики напірного трубопроводу потрібно визначати індивідуальний діаметр рециркуляційного трубопроводу.

3. Застосування більшого за розрахунково-необхідний діаметр рециркуляційного трубопроводу ($d_{\text{рец}} > d_{\text{рец}}^{\text{потр}}$) є допустимим, але дороговартісним технічним рішенням.

4. Застосування меншого за розрахунково-необхідний діаметр рециркуляційного трубопроводу ($d_{\text{рец}} < d_{\text{рец}}^{\text{потр}}$) є неприпустимим технічним рішенням.

5. Встановлення рециркуляційного трубопроводу з науково-обґрунтованим визначенням його діаметра гарантує стабілізацію подачі насоса в нагнітальний трубопровід у діапазоні надходження рідини в приймальну ємність від $(Q_{\text{прих}})^{\text{min}}$ до $Q_{\text{очік}}$.

6. Чим вищий надмірний тиск створює насос в нагнітальному трубопроводі, тим більший діаметр рециркуляційного трубопроводу потрібно встановити, оскільки системі потрібно більшим «рециркуляційним» пропуском рідини компенсувати більшу надмірну подачу насоса.

7. Чим краща параболічна характеристика насоса $H_n = f(Q_n)$, тим менший діаметр рециркуляційного трубопроводу, і, навпаки, чим «пологіша» — тим більший діаметр рециркуляційного трубопроводу потрібен.

8. Чим краща гідравлічна характеристика нагнітального трубопроводу, тим потрібен менший діаметр рециркуляційного трубопроводу, і, навпаки, чим «пологіша» — тим більший діаметр рециркуляційного трубопроводу потрібен.

9. Встановлення науково-обґрунтованого розрахункового діаметра рециркуляційного трубопроводу — $d_{\text{рец}}^{\text{розр}}$, завдяки «гідравлічно-врівноваженому» розподілу подачі насоса між рециркуляційним і нагнітальним трубопроводами, гарантує підтримання системою регулювання належного рівня рідини в приймальному збірнику насоса.

Рекомендації

Матеріали, викладені в статті, можуть бути використані:

- для формування проектних систем автоматичного регулювання подачі насоса в системах, структура яких містить відцентровий насос, напірні трубопроводи та різновисотні ємності — напірну і прийомну, в яких потрібно регулювати стабільний рівень рідини;
- для реконструкції існуючих систем регулювання у зв'язку з підвищенням виробничої потужності виробництва;
- для перевірки існуючих систем регулювання на відповідність фактичних параметрів існуючим розмірам системи регулювання.

Література

- Бешта, А. С., Азюковский, О. О. (2009). Выбор рационального способа регулирования подачи воды насосным агрегатом. *Технічна електродинаміка*, 3, 65—71.
- Гімер, П. Р., & Муж, М. П. (2012). Математичне моделювання роботи насосної установки на трубопроводі. *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*, (1(42), 109—115. Взято з: <https://trngnr.nung.edu.ua/index.php/trngnr/article/view/88>.
- Герасимов, Г. Г. (2008). *Гідравлічні та аеродинамічні машини*. Рівне.
- Гейнер, В. Г., Дулин, В. С., Заря, А. Н. (1991). *Гидравлика и гидропривод*. М.: Недра.
- Николаев В. Г. (2006). Энергосберегающие способы управления лопастными насосными агрегатами в системах водоснабжения при нестационарной нагрузке. *Сантехника*, 4, 22—28.
- Мрочек, В. И., Мрочек, Т. В., Бураков, А. С. (2012). Исследование центробежных насосов и способов регулирования их подачи. *Вестник Белорусско-Российского университета*, 2, 50—56.
- Николенко, И. В., Рыжаков, А. Н., Умаров, Р. С. (2016). *Сравнительный анализ энергоэффективности различных способов регулирования силовых агрегатов насосных станций систем водоснабжения*. Материалы 2-го международного симпозиума «Математика и информационные технологии в применении». Сочи.
- Николенко, И. В., Швагирев, П. А. (2015). Анализ энергетической эффективности различных способов регулирования насосов в системах водоснабжения. *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences*, 1, 87—96.
- Николенко, И. В., Сафонов, А. Н., Пастушенко, А. В. (2012). Анализ способов регулирования подачи питьевой воды потребителям с учетом условий работы систем водоснабжения. *Науковий вісник будівництва*, 70, 333—337.
- Подволоцкий, Н. М. (2017). Регулирование подачи центробежного насоса перепуском. *Транспорт РФ*, 3(70), 51—54.
- Подволоцкий Н. М. (2013). Определение рабочей точки для судовых трубопроводных систем аналитическим способом. *Транспорт РФ*, 1 (44), 68—70.
- Рисухин, Л. И., Коваленко, А. А., Соколов, В.И. (2010). *Совершенствование насосного оборудования систем промышленного гидротранспорта*. Луганськ: Вид-во Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.
- Рисухин, Л. И., Вялых, А. В., Щурова, И. В. (2008). Лопастные насосы: Вопросы регулирования. Луганск: ВНУ им. В. Даля.
- Рисухин, Л. И. (2009). Критерий эффективности байпасного регулирования центробежного насоса. *Східно-Європейський журнал передових технологій. Серія «Системи управління»*, 1/3(37), 35—37.
- Филоненко, В. Н., Цыганков, Д. Н. (2012). Гидравлическое обоснование выбора типоразмера насоса при рециркуляционном регулировании его производительности. *Сахар*, 10, 44—49.
- Шилин, Ю. И., Шрейнер, И. Л., Мороз, П. А. (1965). Эффективность различных методов регулирования давления в магистральном нефтепроводе. *Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов*, 12, 3—7.

Черкасский, В. М. (1984). *Насосы, вентиляторы, компрессоры*: учебник для теплоэнергетических специальностей вузов. М.: Энергоатомиздат.

Casada, D. (2000). Screening pumping systems for energy savings opportunities. *Energy Engineering*, 97(2), 43—63.

Moreno, M. A., Carrion, P. A., Plannels, P., Ortega, J. E., Tarjuelo, J. M. (2007). Measurement and Improvement of the energy efficiency of pumping stations. *Biosystems Engineering*, 98(4), 479—486.

Saidur, R., Mahlia, T. (2011). Impacts of energy efficiency standard on motor energy savings and emission reductions. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 13(1), 103—109.

THEORETICAL AND PRACTICAL PRESCRIPTION JUSTIFICATION OF APPLE MUFFINS FOR SPECIAL PURPOSE

O. Pavluchenko, L. Deinychenko, A. Kravchuk, O. Matiyashchuk, I. Sylka
National University of Food Technologies

Key words:

*Muffins for special
purpose
Glycemic index
Amaranth flour
Flax flour
Green buckwheat flour
Stevia*

Article history:

Received 04.01.2022
Received in revised form
14.01.2022
Accepted 27.01.2022

Corresponding author:

A. Kravchuk
E-mail:
elinkravchuk@gmail.com

ABSTRACT

The article substantiates the need for the production of apple muffins for special purpose in order to expand the range of flour confectionery for people suffering from diabetes, obesity, cilia-cia.

The experience of using sugar and wheat flour substitutes in the technology of flour confectionery for special purpose, in particular, with improved nutritional, biological value and reduced glycemic index, was analyzed. Prescription dust components were selected. It was found that the lowest glycemic index was typical for green buckwheat flour (15 units), flax flour (35 units), amaranth flour (45 units). The nutritional and energy value of experimental samples of flour and apple powder used in the recipes of apple muffins for special purpose were determined.

Four model samples with different percentages of dust components were developed. At the stage of sensorial parameters analysis using the sensory method it was found that sample with the content of amaranth flour, flax flour and green buckwheat flour in the percentage of 20:30:50, respectively, had the best sensorial characteristics. This sample is characterized by an attractive appearance, soft, moist and porous texture, pleasant smell and taste with a flavor of buckwheat, nuts and apples.

Taking into account the physicochemical parameters, an increase in humidity of 4.3% and a decrease of more than 20% by volume were determined for apple muffins for special purpose comparing to the prototype.

The chemical composition, energy value and glycemic index of the innovative product were determined and compared to the control sample.

The result of the study is a scientifically justified composition of innovative apple muffins for special purpose with high sensorial properties, improved nutritional value and energy value and glycemic index reduced by 22% and 17% respectively.

ТЕОРЕТИЧНЕ І ПРАКТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЦЕПТУРНОГО СКЛАДУ МАФІНІВ ЯБЛУЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

О. С. Павлюченко, Л. Г. Дейниченко,
А. В. Кравчук, О. В. Матияшук, І. М. Силка
Національний університет харчових технологій

У статті обґрунтовано можливість виробництва мафінів яблучних спеціального призначення з метою розширення асортименту борошняних кондитерських виробів для хворих на цукровий діабет, ожиріння, целиакію.

Проаналізовано досвід використання замінників цукру, борошна пшеничного в технології борошняних кондитерських виробів спеціального призначення, зокрема з покращеною харчовою, біологічною цінністю та зниженим глікемічним індексом. Підібрано рецептурні сипкі компоненти та встановлено, що найменший глікемічний індекс має борошно зеленої гречки (15 од.), лляне борошно (35 од.) та амарантове борошно (45 од.). Визначено харчову й енергетичну цінність дослідних зразків борошна та яблучної клітковини, які використовувались у рецептурах мафінів яблучних спеціального призначення.

У ході досліджень розроблено чотири модельні зразки з різними відсотковим співвідношенням сипких компонентів. На етапі аналізу органолептичних показників сенсорним методом встановлено, що зразок № 3 з вмістом борошна амарантового, лляного та борошна зеленої гречки у відсотковому співвідношенні 20:30:50 відповідно мав найкращі органолептичні показники. Зразок характеризується привабливим зовнішнім виглядом, приємним запахом, має присмак гречки, горіхів та яблук, м'яку вологу й пористу консистенцію.

Що стосується фізико-хімічних показників, то спостерігається збільшення вологості на 4,3% та зменшення понад 20% об'ємної маси мафінів яблучних спеціального призначення порівняно з аналогом. Визначено хімічний склад, енергетичну цінність і глікемічний індекс інноваційного виробу та проведено порівняння з контролем.

Результатом проведеного дослідження є науково обґрунтований склад інноваційних мафінів яблучних спеціального призначення з високими органолептичними показниками, покращеною харчовою цінністю, зниженими енергетичною цінністю (на 22%) і глікемічним індексом (на 17%).

Ключові слова: мафіни спеціального призначення, глікемічний індекс, амарантове борошно, лляне борошно, борошно зеленої гречки, стевіозид.

Постановка проблеми. Протягом останніх років якість життя значної частини людей погіршилась. Однією з причин є поширення хвороби COVID-19. Карантинні обмеження, значне збільшення часу перебування вдома, обмежене спілкування в соціумі стають причиною послаблення імунітету, поширення неінфекційних захворювань, пов'язаних насамперед з порушенням обміну речовин, серед яких цукровий діабет, ожиріння, целиакія тощо.

Згідно зі статистикою Міжнародної діабетичної федерації, у світі понад 366 млн осіб хворіють на цукровий діабет, за прогнозом до 2030 р. кількість людей з цукровим діабетом зростає до 600 мільйонів. Нині в Україні зареєстровано понад 1,4 млн людей хворих на цукровий діабет, з них 10% мають діабет I типу і 90% — II типу (Центр медичної статистики, 2021).

В основі розвитку цукрового діабету II типу лежить інсулінорезистентність (нечутливість тканин до дії інсуліну), яка розвивається на фоні надлишкової ваги та ожиріння. Медики стверджують, що збільшення захворюваності на цукровий діабет II типу насамперед пов'язане зі зростанням кількості людей з надлишковою масою тіла, ожирінням (Мусаєва, 2021).

Ожиріння або надлишкова маса тіла спостерігається в кожній п'ятій людині в Україні та в кожній третій у світі (Shapovalenko, Pavliuchenko & Kuzmin, 2021). Така невтішна статистика та зростаючий попит на борошняні кондитерські вироби, значна їх частина в структурі харчування більшості українців вказують на необхідність розроблення нових видів солодошів з урахуванням вимог нутриціології та рекомендацій щодо обмежень у харчовому раціоні, пов'язаних зі споживанням цукру, легкозасвоюваних вуглеводів, непереносимістю глютену. Пропозиції такої продукції на вітчизняному ринку солодошів досить обмежені та потребують розширення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні роки тема продуктів дієтичного та функціонального призначення особливо актуальна, оскільки зменшення кількості солі, цукру, жирів і заміна традиційних компонентів на більш корисні, з підвищеним вмістом білка, харчових волокон, макро-, мікроелементів, вітамінів допомагає зробити харчування сучасної людини здоровішим.

Значна частка наукових розробок під керівництвом А. М. Дорохович, К. Г. Іоргачової, В. В. Дорохович, О. В. Самохвалової, Ю. В. Камбулової, В. В. Євлаш, Е. Badiu, S. Man, A. Paucan, S. Muste, A. Pop та інших присвячена розробці борошняної кондитерської продукції функціонального призначення.

Велику увагу науковці приділяють питанню розробки борошняних кондитерських виробів спеціального призначення з повною або частковою заміною в рецептурних композиціях цукру, борошна пшеничного зі значним вмістом вуглеводів (понад 70 г / 100 г) та відносно високим глікемічним індексом, внесенням компонентів зі збільшеним вмістом білка, харчових волокон, біологічно активних речовин тощо.

Ефективність використання цукрозамінників, підсолоджувачів у технології борошняних кондитерських виробів, зокрема печива, вафель підтверджено низкою наукових розробок (Абрамова & Дорохович, 2014; Сімахіна & Висоцький, 2020). Автори досліджень стверджують, що зниженню калорійності борошняних виробів на 10% сприяє заміна сахарози на полідекстрозу, інулін, сорбіт (Shapovalenko, Pavliuchenko & Kuzmin, 2021).

Доведено можливість використання ізомальтитолу та інуліну у виробництві печива цукрового і дієтично-функціонального «Зустріч» з покращеними органолептичними показниками (Абрамова & Дорохович, 2014).

Ефективним натуральним підсолоджувачем рослинного походження для борошняних кондитерських виробів може бути стевіозид — продукт переробки

стевії. Стевія і продукти її переробки мають високий коефіцієнт солодкості та низьку енергетичну цінність, стійкі при нагріванні, легко розчиняються і дозуюються, утилізуються без інсуліну (Костина, 2003).

Колективом науковців під керівництвом проф. Г. О. Сімахіної запропоновано модифікацію вуглеводного профілю цукрового печива, яка полягає в заміні пшеничного борошна на суміш вівсяного, ячмінного та гречаного в різних співвідношеннях. Дослідження науковців підтверджують доцільність повного виключення цукру з рецептури та заміни його інгредієнтами, що не викликають гіперглікемічного ефекту (екстракт стевії та β -глюкани в борошняній суміші), а також введення в рецептуру порошку журавлини, завдяки чому досягаються високі органолептичні показники і гармонійне поєднання всіх компонентів печива. В отриманих виробах частка білка зростає на 12...15%. Практично на таку ж кількість зменшується вміст вуглеводів, а частка харчових волокон з 5,4 г збільшується до 22,28 г (при добовій потребі в харчових волокнах 25...40 г, у середньому — 30 г). Зростає концентрація більшості вітамінів, особливо фолієвої кислоти та вітаміну К; істотно зростає частка калію, кальцію, фосфору, магнію, заліза (Сімахіна, 2020). Відомі дослідження, які вказують на можливість повної заміни борошна пшеничного на амарантове в технології виробництва бісквітних напівфабрикатів (Дубініна, Попова & Ленерт, 2014).

Значна частина наукових розробок вказує на ефективність використання рисового борошна в технології безглютенових хлібобулочних і кондитерських виробів, таких як хліб і тістечка, традиційна технологія яких передбачає внесення до рецептурного складу пшеничного борошна (Cato, Gan & Small, 2004; Shih, Truong & Daigle, 2006). Науковці стверджують, що рисове борошно може повністю замінити пшеничне борошно в кексах і мафінах.

Можливість повної заміни борошна пшеничного в рецептурах борошняних кондитерських виробів підтверджена результатами проведених досліджень комплексної оцінки якості мафінів шоколадних за методом Харрінгтона. Колектив авторів вказує на можливість повної заміни пшеничного борошна на кокосове та борошно з коричневого рису у співвідношення 40:60% відповідно (Shapovalenko, Pavliuchenko & Kuzmin, 2021).

Новий вид безглютенових мафінів розроблено колективом науковців для споживання населенням, що хворіє на целиацію. Розроблені вироби з рисового, соєвого борошна (80:20) мають високі органолептичні показники та покращену харчову цінність (Man, Pauccean & Pop, 2014).

Мафіни, приготовлені з борошна водяного каштана та ячмінного борошна з низьким глікемічним індексом, розроблено для харчування людей, які хворіють на гіперглікемію. Модифікація процесу випікання та заміна цукру столового на підсолоджувачі (манітол і сукралозу) додатково знижує ГІ та розширює можливості використання виробів у лікувальних дієтах (Hussain, Beigh & Zargar, 2019).

Порівняльна характеристика хімічного складу й технологічних властивостей пшеничного, амарантового та лляного борошна вказує на те, що амарантове та лляне борошно відрізняються від пшеничного зниженою вологістю, вищою водопоглинальною здатністю і вмістом поживних речовин. Використання амарантового та лляного борошна позитивно впливає на якість цукрового і здобного печива та підвищує його біологічну цінність (Миколенко & Захаренко, 2021).

Мета дослідження: наукове обґрунтування рецептурного складу мафіна яблучного спеціального призначення з покращеною харчовою цінністю, органолептичними властивостями та зі зниженим глікемічним індексом.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження була технологія мафінів. Як предмет дослідження обрано борошно із зеленої гречки (ГОСТ 7824-80), лляне (ТУ У 15.6-2110615276-002:2010), амарантове (ГОСТ 7824-80). Мафіни виготовлені за традиційною і новою рецептурою, з повною заміною цукру та борошна пшеничного. Дослідження з визначення якості сировини, напівфабрикатів і готових виробів проводили з використанням загальноприйнятих і спеціальних методів (Дорохович & Ковбаса, 2015; ГОСТ 5898-87; ДСТУ 4910:2008).

Визначення органолептичних показників якості дослідних зразків мафінів здійснювали шляхом дегустації з подальшим оцінюванням за 5-бальною шкалою, порівнюючи з вимогами ДСТУ 4505:2005 та ДСТУ 4683:2006. Визначення питомого об'єму проводили відповідно до стандартної методики (Дорохович, Ковбаса, 2015).

Лужність і масову частку вологи дослідних зразків визначали згідно з ДСТУ 5024:2008 «Вироби кондитерські. Методи визначання кислотності та лужності» та ДСТУ 4910:2008 «Вироби кондитерські. Методи визначення масових часток вологи та сухих речовин».

Харчову та енергетичну цінність і показник глікемічності визначали розрахунковим методом. Розрахунок показника глікемічності проводили за методикою проф. А. М. Дорохович (Патент 40623 Україна, МПК А 23 L 1/10. Спосіб визначення показника глікемічності харчового продукту).

Результати і обговорення. На першому етапі досліджень створено модельні зразки мафінів яблучних спеціального призначення. Як аналог використовували рецептуру мафіна «Яблуко на день», яка традиційно містить цукор і борошно пшеничне (Davita Kidney Care, 2009).

У рецептурному складі дослідних зразків було повністю замінено борошно пшеничне на суміш борошна амарантового, лляного та із зеленої гречки з урахуванням вмісту сухих речовин. Цукор замінено на стевіозид, додатково вносили яблучну клітковину, також використовували воду, яйця, олію оливкову, нарізані маленьким кубиком яблука, розпушувач.

Відмінний від пшеничного борошна хімічний склад, фракційні та амінокислотні складові білків, будова і температура клейстеризації крохмалю, наявність інших полісахаридів, мінеральних речовин і вітамінів забезпечує специфічні смакові, функціональні й технологічні властивості нетрадиційних видів борошна і продуктів на їх основі (Абрамова & Дорохович, 2014; Сімахіна & Висоцький, 2020; Миколенко & Захаренко, 2020; Матияшук, Фурманова & П'яних, 2017).

На основі проведеного аналізу літературних джерел і власних досліджень для виробництва мафінів було обрано борошно зеленої гречки, амарантове та лляне знежирене борошно. Ці види борошна відносяться до безглютенових через відсутність проламіну у складі білків, що дасть змогу розширити коло споживачів борошняних кондитерських виробів на їх основі та пропонувати продукцію як безглютенову.

Борошно зеленої гречки містить 13—15% білка, значну кількість незамінних амінокислот. Хімічний склад цього борошна можна порівнювати з бобовими культурами: бобами, горохом, квасолею. Фракційний склад білка борошна зеленої

гречки складається з альбумінів (18,2%), глобулінів (43,3%), проламінів (0,8%), глютенінів (22,7%), інші (0,5%), що забезпечує легке засвоєння організмом людини (Дубініна, Попова & Ленерт, 2014). У борошні зеленої гречки більше, порівняно з борошном інших злакових культур, кальцію і заліза. До його складу входять вітаміни В1, В2, В3, В6, РР та Е. Продукти на основі гречаного борошна сприяють зниженню рівня холестерину, виявляють профілактичні властивості при захворюваннях органів травлення, а також допомагають позбутися легкої депресії, піднімаючи рівень дофаміну в крові.

Користь амарантового борошна зумовлена хімічним складом насіння амаранту, яке містить до 18—20% білка, 28—35% незамінних амінокислот, переважно лізину, до 2—17% ліпідів, з них 50% поліненасичених жирних кислот, 6—8% сквалену і 0,11—0,19% токоферолів, що характеризуються високим рівнем протипухлинних і антиоксидантних властивостей (Скуріхін & Волгарьова, 1987).

Ляне борошно містить значну кількість білків, харчових волокон і поліненасичених жирних кислот (Омега-3 і Омега-6), є цінним продуктом дієтичного харчування за рахунок вмісту в ньому рослинних білків, які добре засвоюються організмом людини, антиоксидантів, значної кількості (до 35%) харчових волокон, в тому числі водорозчинних (лігнанів), вітамінів В1, В6 і В2, фолієвої кислоти та мінеральних речовин калію, цинку і магнію. Споживання харчових продуктів з насінням льону посилює секрецію підшлункової залози, стимулює вироблення інсуліну та знижує глікемію, сприяє зниженню рівня холестерину в крові, покращує діяльність шлунково-кишкового тракту.

Як амарантове, так і ляне борошно відрізняються від пшеничного борошна крупністю, специфічним смаком і запахом, наявністю значної кількості оболонок, які можуть сприяти появі в готових виробах хрустоту. Саме тому за основу борошняної суміші дослідних зразків мафінів було обрано гречане борошно.

З метою збагачення складу мафінів яблучних спеціального призначення було запропоновано використовувати яблучну клітковину. Ця харчова добавка містить до 62% нерозчинних харчових волокон (клітковини), які позитивно впливають на мікрофлору кишківника, покращують травлення, викликають відчуття ситості.

Порівняльна характеристика харчової, енергетичної цінності та глікемічного індексу сипучих компонентів дослідних зразків мафінів представлена в табл. 1.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика харчової, енергетичної цінності та глікемічного індексу сипучих компонентів дослідних зразків мафінів (Органік Еко-Продукт, 2021; Countryside, 2021)

№ п/п	Назва сировини	Вміст білків, г	Вміст жирів, г	Вміст вуглеводів/ харчових волокон, г	Енергетична цінність, кКал	Глікемічний індекс, од.
1	Борошно пшеничне	15,0	1,9	68,0/12,0	329	85
2	Амарантове борошно	16,0	13,0	64,5/1,7	341	35
3	Ляне борошно	36,21	13,0	11,92/29,41	280	45
4	Борошно зеленої гречки	13,6	3,3	69,76/1,6	310	15
5	Яблучна клітковина	6,0	2,0	24,0/62,0	258	0

Отже, вміст основних нутрієнтів, зокрема білків і жирів, в амарантовому, лляному та борошні зеленої гречки, порівняно з пшеничним борошном, значно вищий, а глікемічний індекс — нижчий. Одним із напрямів покращення харчової цінності мафінів спеціального призначення може бути сумісне використання борошна амаранту та льону, які є джерелом білків і жирів, та борошна зеленої гречки, яка містить значну кількість вуглеводів в одній рецептурі.

Для виготовлення яблучних мафінів спеціального призначення зі зниженим глікемічним індексом було здійснено повну заміну цукру на стевіозид. При цьому враховували його здатність впливати на смак готових виробів. Адже невелика кількість стевіозиду викликає відчуття приємного солодкого смаку, велика — відчуття спочатку солодкого, потім гіркого смаку (Костина, 2003). Стевіозид у дослідні зразки вносили з урахуванням солодкості.

Співвідношення сипких компонентів у рецептурах мафінів становило: у зразку № 1 (контроль) борошно пшеничне вищого сорту — 100%; у модельних зразках з повною заміною борошна пшеничного відсоткове співвідношення амарантового, лляного та борошна зеленої гречки становило: зразок № 2 — 30:20:50; зразок № 3 — 20:30:50 та зразок № 4 — 20:40:30 відповідно. У всі дослідні зразки з повною заміною цукру вносили: 3% розпушувачу, 4% стевіозиду та 4% яблучної клітковини до маси борошна. Окрім того, до рецептури додавали 13% олії оливкової, 17% яєць курячих, 13% нарізаних маленькими кубиками яблук, 13% води, 13% яблучного пюре.

Технологія приготування дослідних зразків мафінів яблучних спеціального призначення складалася з таких стадій: підготовка сировини, яку здійснювали відповідно до стандартних методик (Дорохович & Ковбаса, 2015), приготування тіста. Для цього до окремо підготовлених рідких компонентів поступово вносили суміш сипких і замішували тісто, ретельно перемішуючи, щоб не залишилося жодної грудочки, потім додавали нарізані дрібними кубиками яблука, ще раз перемішували та переносили у підготовлені формочки, заповнюючи їх на $\frac{3}{4}$ об'єму; випікання виробів здійснювали в електричній духовій шафі «Electrolux» при температурі 175°C протягом 25—30 хв. Готові мафіни охолоджували.

На першому етапі досліджень було визначено органолептичні показники якості дослідних зразків (табл. 2).

Таблиця 2. Показники якості органолептичних показників дослідних зразків

Показники	Характеристика зразків			
	Зразок № 1 (Контроль)	Зразок № 2	Зразок № 3	Зразок № 4
1	2	3	4	5
Зовнішній вигляд, консистенція	Кругла не zdeформована, без напливів, притаманна формі, з незначними тріщинами	Кругла не zdeформована, без напливів, без тріщин, відсутня начинка на поверхності	Кругла не zdeформована, без напливів, притаманна формі, з наявністю незначних тріщин, незначна кількість начинки на поверхності	Кругла не zdeформована, з напливами, без тріщин, незначна кількість начинки на поверхності

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
Смак і запах	Солодкий, без сторонніх запахів і присмаків	Солодкий, характерний, присмак гречки і ледь відчутний горіхів та яблук	Солодкий, з приємним поєднанням горіхового, гречаного та яблучного присмаку	Солодкий, характерний присмак гречки, яблук і занадто відчутний присмак горіхів та олії, відчувається хрускіт
Колір	Світло-жовтий, рівномірний	Світло-коричневий, рівномірний		

Отримані результати дослідження зразків мафінів показали, що повна заміна борошна пшеничного на суміш амарантового, лляного, борошна зеленої гречки, а цукру на стевіозид позитивно впливає на такі показники якості, як стан м'якушки, вона стає більш вологою, змінюється смак, з'являється гармонійне поєднання гречаного, горіхового та яблучного присмаків. Проте спостерігається зміна кольору мафінів від світло-жовтого до світло-коричневого. Слід зазначити, що при зменшенні в борошняній суміші кількості борошна зеленої гречки на 20% та збільшенні дозування лляного спостерігається значне погіршення якості готових виробів. У мафінах м'якушка стає занадто вологою, з'являються непропечені ділянки. Смак і аромат також негативно змінюються, з'являється неприємний присмак горіхів та олії, відчувається хрускіт оболонки.

Органолептичні показники дослідних зразків оцінювали за 5-бальною шкалою (табл. 2) за такими аспектами: зовнішній вигляд, колір, смак, запах, консистенція. Відповідні профілограми наведено на рис. 1.

◆ Зразок № 1 (Контроль) ■ Зразок № 2 ▲ Зразок № 3 ✕ Зразок № 4

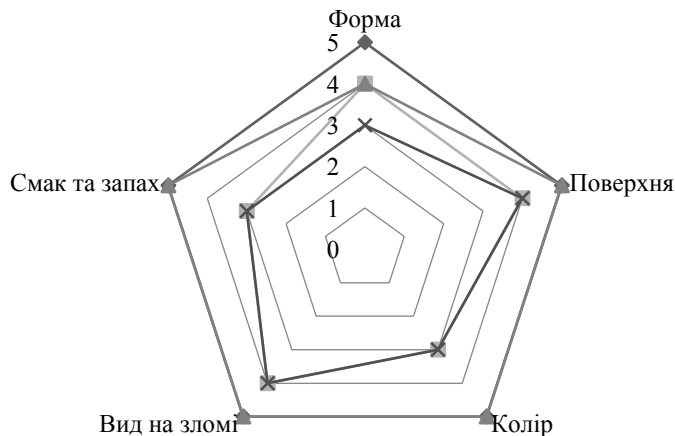


Рис. 1. Профілограми дослідних зразків мафінів яблучних спеціального призначення

За допомогою сенсорного методу провели порівняння контрольного та модельних зразків мафінів і визначили, що зразок № 3 характеризується найкращими

показниками якості. Зовнішній вигляд, консистенція, стан м'якушки, запах і смак цього зразка отримали найвищу оцінку під час дегустації серед модельних зразків. Лише за показником кольору цей зразок поступився контрольному зразку, адже має більш темне, світло-коричневе забарвлення. Його було обрано для подальших досліджень фізико-хімічних показників. Результати досліджень наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Фізико-хімічні показники дослідних зразків мафінів яблучних

Показники	Характеристика зразків	
	Контроль	Модельний зразок № 3
Об'ємна маса, см ³ / г	2,8	2,2
Лужність, град	1,6	1,8
Масова частка вологи, %	21,7	25,8

Отже, для модельного зразка № 3 характерним є збільшена на 4,1% вологість і зменшена на понад 20% об'ємна маса. Це може бути пов'язано з різним хімічним складом вихідної сировини, підвищеним вмістом білків, клітковини, для яких характерним є підвищена водопоглинальна та водоутримувальна здатність.

Основними характеристиками харчового продукту є його хімічний склад і харчова цінність, зокрема вміст і співвідношення в ньому білків, жирів і вуглеводів. Дані щодо дослідних зразків мафінів наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Хімічний склад, енергетична цінність досліджуваних зразків мафінів (на 100 г продукту)

№ п/п	Назва виробу	Вміст, г				Енергетична цінність, кКал	Глікемічний індекс, од.
		Білків	Жирів	Вуглеводів	Клітковини		
1	Зразок № 1 (контроль)	4,1	12,7	75	10,8	430,7	122
2	Зразок № 3	9,3	20,2	24,9	17	318,6	110

Як видно з даних табл. 4, за рахунок повної заміни борошна пшеничного на борошняну суміш амарантового, лляного та борошна зеленої гречки, цукру на стевіозид та внесення до рецептури 1% яблучної клітковини вдалося збільшити кількість білків на 55%, жирів — на 37%, клітковини — на 36%, але при цьому зменшити кількість вуглеводів на 67%. Використання в рецептурі мафінів борошняної суміші та стевіозиду дало змогу зменшити глікемічний індекс готових виробів до 12 одиниць.

За рахунок споживання 100 г розроблених мафінів можна забезпечити добову потребу в білках на 12%, жирах і вуглеводах на 25 та 7% відповідно.

Висновки

Науково обґрунтовано й експериментально підтверджено можливість повної заміни борошна пшеничного на суміш амарантового, лляного та борошна зеленої гречки, цукру на стевіозид, додавання яблучної клітковини у виробництві борошняного кондитерського виробу — мафіна яблучного спеціального призначення, з метою покращення його харчової цінності та органолептичних властивостей і зниження глікемічного індексу.

Встановлено, що найбільш вдалим поєднанням компонентів у борошняній суміші для мафінів яблучних спеціального призначення є співвідношення ама-рантове, лляне і борошно із зеленої гречки — 20:30:50 відповідно.

Розроблені мафіни яблучні спеціального призначення містять 9,3% білків, 20,2% жирів, 24,9% вуглеводів і 17% клітковини.

Отже, отримані зразки мафінів мають покращені органолептичні показники: привабливий зовнішній вигляд, світло-коричневий колір, приємний аромат і со-лодкий смак з гармонійним поєднанням горіхового, гречаного та яблучного при-смаку, м'яку, вологу та пористу м'якушку. За фізико-хімічними показниками отримані вироби відповідають вимогам нормативної документації.

Впровадження розроблених виробів у виробництво дасть змогу розширити асортимент борошняних кондитерських виробів спеціального призначення, зо-крема для діабетичної та аглютенкової дієти.

Література

Абрамова, А., Дорохович, В. (2014). Розроблення технології бісквітів дієтично-функ-ціонального призначення. *Збірник наукових праць Інституту продовольчих ресурсів*, 3, 27—30.

Всесвітня організація охорони здоров'я. Діабет. Взято з: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>.

Дорохович, А., Ковбаса, В. (2015). *Технологія та лабораторний практикум конди-терських виробів і харчових концентратів*: навч. посібник. Київ: Інкос.

Дубініна, А., Попова, Т., Ленерт С. (2014). Аналіз хімічного складу гречаної крупы із гречки різних селекційних сортів. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 70, 58—62.

ДСТУ 4505:2005 «Кекси. Загальні технічні умови». Взято з: <http://ukrapk.com/gosts/fish/dsty45052005keksi.html>.

ДСТУ 4683:2006 «Вироби кондитерські. Методи визначення органолептичних показ-ників якості, розмірів, маси нетто і складових частин». Взято з: http://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage.html?id_doc=92395.

ДСТУ 4910:2008 «Вироби кондитерські. Методи визначення масових часток вологи та сухих речовин». Взято з: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=95233.

Матияшук, О., Фурманова, Ю., П'яних, С. (2017). Використання амарантового борошна в технології виробництва бісквітних напівфабрикатів. *Науковий погляд в майбутнє*, 6, 52—58.

Миколенко, С., Захаренко, А. (2021). Дослідження впливу амарантового та льняного борошна на якість печива. Чернігів. doi: 10.25140/2411-5363-2020-1(19)-228-240.

Мусаєва, С. (2021). Лікування цукрового діабету: відмінності аналогових і людських інсулінів. Київ: Українська правда. Взято з: <https://life.pravda.com.ua/health/2021/10/6/246109/>.

Органік Еко-Продукт (2021). Амарантове борошно. Харчова та енергетична цінність. Взято з: <https://pekar-konditer.com.ua/muka-amarantovaya-05-kg>.

Органік Еко-Продукт (2021). Борошно зеленої гречки. Харчова та енергетична цінність. Взято з: <https://pekar-konditer.com.ua/muka-iz-zelenoy-grechki-1-kg>.

Органік Еко-Продукт (2021). Лляне борошно. Харчова та енергетична цінність. Взято з: <https://pekar-konditer.com.ua/muka-lyanaya-1-kg>.

Сімахіна, Г., Висоцький, О. (2020). Печиво модифікованого вуглеводного складу для діабетичного харчування. *Наукові праці НУХТ*, 2, 161—169.

Скуріхін, І., Волгарьова, М. (1987). *Хімічний склад харчових продуктів*: Книга 1: Довідні таблиці вмісту харчових речовин і енергетичної цінності харчових продуктів. Москва: ВО «Агропромиздат».

Центр Медичної Статистики (2021). 14 листопада Всесвітній день боротьби з цукровим діабетом. Запоріжжя. Взято з: <https://zoiacms.zp.ua/2021/11/12/14-lystopada-vsesvitnii-den-borotby-z-tsukrovym-diabetom/>.

ГОСТ 5898-87 «Изделия кондитерские. Методы определения кислотности и щелочности». Взято з: <https://docs.cntd.ru/document/1200022443>.

Костина, В. (2003). Использование гликозилированного стевиозидов в производстве молочных напитков. *Пищевая промышленность*, 12, 48—49.

Chato, L., Gan, J. J., Rafal, L. G. B., Smal, D. M. (2004). Gluten free breads using river flora and hydrocolloid gums. *Food Ast.*, 56(c), 75.

Coutry Life (2021). Яблучна клітковина. Харчова та енергетична цінність. Взято з: <https://gymbeam.ua/ua/jabluchna-klitkovina-country-life.html>.

Hussain, S. Z., Beigh, M. A., Qadri, T., Naseer, B., Zargar, I. (2019). Development of low glycemic index muffins using water chestnut and barley flour. *J Food Process Preserv.* 2019; e14049. Взято з: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14049>.

Davita Kidney Care (2009). Рецепт мафінів. Мафіни «Яблуко на день». Взято з: <https://www.davita.com/diet-nutrition/recipes/breads/an-apple-a-day-muffins>.

Man, S., Păucean, A., Muste, S., Pop, A. (2014). Studies on the formulation and quality characteristics of gluten free muffins. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 20(2), 122—127.

Shapovalenko, O., Pavliuchenko, O., Furmanova, Y., Sharan, L., Kuzmin, O. (2020). Improvement of the recipe composition of special-purpose gluten-free chocolate muffins. *Food science and technology*, 4, 20—30.

PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF STARCH AND STARCH PRODUCTS AS AN ADVANTAGE OF THEIR USE IN FOOD INDUSTRY

M. Buzhanska, I. Oshchypok

Lviv University of Trade and Economics

Key words:

Hydrocolloids
Modified starch
Food additives
Hydrophilicity
Viscosity
Total and active acidity
SWOT-analysis

Article history:

Received 10.01.2022
Received in revised form
19.01.2022
Accepted 28.01.2022

Corresponding author:

M. Buzhanska
E-mail:
buganskam@ukr.net

ABSTRACT

An article describe the important physico-chemical properties of the most popular commercial food starches: native and modified. These results predict the possibility of use and features, and determine the practical value of starch products in the manufacture of food products. Classical physico-chemical methods were used for the analysis of starch and starch products. The dependence of solubility, moisture holding capacity of gelatinization temperature, acidity and other parameters and type of starch were analyzed. The hydrophilicity of the structurants was analyzed by the indicator-refractometric method, the characteristic and dynamic viscosity were determined by the viscosimetric method, the pH was determined by the potentiometric (electrometric) method, and the total acidity of the hydrocolloids was determined titrimetrically.

The results of the study allow to predict the technological behavior of starch in the development of food recipes and expand the range of their use. The authors conducted a comparative analysis of the physicochemical properties of esterified and native types of starch. The paper, based on the analysis of literature sources and the results of research, shows the possibility of introducing esterified starch (E1412) into the product. Experimental data justifiably show that the introduction of modified esterified starch (E1412) in the formulation slows down the processes of retrogradation of the food system, and the values of hydrophilicity have a positive effect on the structural properties and colloidal stability of food systems. The methodology of SWOT-analysis allowed to systematize the results of the study into the following groups: experimental results of physicochemical properties, identified strengths and weaknesses of the introduction of starch products in the recipe of the food product (internal factors); based on the economic situation in the country, favorable opportunities and threats from the market medium (external factors) were identified.

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КРОХМАЛЮ ТА КРОХМАЛЕПРОДУКТІВ ЯК ПЕРЕВАГА ЇХНЬОГО ВИКОРИСТАННЯ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

М. В. Бужанська, І. М. Ощипок

Львівський торговельно-економічний університет

Наведені дослідження описують важливі фізико-хімічні властивості популярних комерційних харчових крохмалів: нативних і модифікованих. Приведені результати прогнозують можливість використання, визначають особливості і практичне значення крохмалепродуктів при розробці рецептур харчових виробів і розширюють спектр їхнього використання. Для аналізу крохмалю та крохмалепродуктів використані класичні фізико-хімічні методи. Проаналізовано залежність розчинності, вологоутримувальної здатності температури клейстеризації, кислотності та інших реологічних показників від способу отримання й виду крохмалю. Гідрофільність структуроутворювачів проаналізовано індикаторно-рефрактометричним методом, віскозиметричним методом визначено відносну, характеристичну та динамічну в'язкість, потенціометричним (електрометричним) методом встановлено рН, титриметрично — загальну кислотність гідроколоїдів.

Проведено порівняльний аналіз фізико-хімічних властивостей етерифікованого і нативних видів крохмалю. На основі аналізу літературних джерел і результатів власних досліджень підтверджено можливість впровадження в склад продукту крохмалю етерифікованого (E1412). Експериментальні дані обґрунтовано показують, що введення в рецептуру модифікованого етерифікованого крохмалю (E1412) призводить до сповільнення процесів ретроградації харчової системи, а значення гідрофільності сприятливо впливають на структурні властивості та колоїдну стабільність харчових систем. Методологія SWOT-аналізу дала змогу систематизувати результати дослідження за такими групами: за експериментальними результатами фізико-хімічних властивостей визначено сильні та слабкі сторони впровадження крохмалепродуктів у рецептуру харчового продукту (внутрішні фактори); з огляду на економічну ситуацію в країні встановлено сприятливі можливості та загрози з боку ринкового середовища (зовнішні фактори).

Ключові слова: гідроколоїди, модифікований крохмаль, харчові добавки, гідрофільність, в'язкість, загальна та активна кислотність, SWOT-аналіз.

Постановка проблеми. Актуальним питанням сьогодення є вивчення технології виробництва харчових продуктів та удосконалення технологічних процесів їх виготовлення за різною рецептурою з комплексним використанням сировини рослинного походження. Розроблення нових рецептур харчових продуктів протягом останніх років розширює попит на рослинні компоненти, оскільки їхні властивості є добрим підґрунтям для використання у виготовленні кулінарної продукції із заданими властивостями. Важливою проблемою при отриманні продукції

високої якості в технології харчових продуктів є стабілізація диспергованого стану вологи, білка у виробі протягом усього процесу виготовлення. У зв'язку з цим необхідно правильно підбирати харчові добавки рослинного походження, які дають змогу забезпечити високу якість харчових емульсій. Основними з них є структуроутворювачі полісахаридної будови (нативний і модифіковані крохмалі, гуарова камедь, камедь річкового дерева, гуміарабік тощо), білкові препарати рослинного й тваринного походження (Junqueira et al., 2018; Khalil et al., 2018; Manoli, Nikitchina & Barysheva, 2021). У технології харчових виробів рослинні компоненти відіграють роль сполучної і структуроутворювальної речовини. Це дає змогу виготовляти продукти стабільної структури та забезпечує високу якість. Нові розробки і творче використання інгредієнтів і добавок дасть змогу виробникам управляти процесами попиту та пропозиції кулінарної продукції в закладах галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Крохмаль — найпоширеніший функціональний матеріал харчових продуктів. У нативному стані його використання обмежено через низьку термічну та реологічну стабільність, зміни під впливом pH середовища, ретроградацію. З метою усунення небажаних властивостей крохмаль піддається різним видам модифікацій. (Junqueira et al., 2018; Vanier, El Halal & Dias, 2017). Хімічно модифіковані полісахариди, отримані під час таких реакцій, часто характеризуються новими, цінними для практики властивостями, які були відсутні у вихідних сполуках (Vanier, El Halal & Dias, 2017; Ward, Prentice & Ambrosini, 2016). Використання модифікованого крохмалю пов'язано передусім з важливими властивостями, такими як біосумісність, здатність до біодеструкції, нетоксичність, його біологічна активність, добрими емульгуючою, волоутримувальною і жирутримувальною здатністю (ВУЗ і ЖУЗ), а також властивістю покращувати реологічні характеристики харчової маси (Adeleke & Emmanuel, 2013; Junqueira et al., 2018). Важливою властивістю цієї харчової добавки є взаємодія з білками та можливість утворення емульсії, гелю, бути стабілізатором і антиоксидантом.

Потреба у виробництві харчових продуктів з використанням модифікованих крохмалів постійно зростає. У технології приготування страв біополімери відіграють роль сполучної і структуроутворювальної речовини (Khalil et al., 2018; Manoli et al., 2021). Актуальність досліджень полягає у збільшенні попиту та перспективі використання гідроколоїдів (Teimouri, Abbasi & Scanlon, 2018; Vanier, El Halal & Dias, 2017).

Молекулярну структуру, властивості та застосування окисненого крохмалю описано у (Vanier, El Halal & Dias, 2017). Огляд важливий для розуміння впливу окиснення на властивості крохмалю. Ця інформація може сприяти розробленню нових окиснених крохмалів як для харчових, так і для непродовольчих продуктів. Авторами описано також вплив цих окисників на молекулярні, фізико-хімічні, термічні та морфологічні властивості крохмалю. Крім того, представлені основні можливості застосування окиснених крохмалів (Vanier, El Halal & Dias, 2017). Різноманітність способів модифікації крохмалю досить велика, крім того, на властивості отриманого крохмалю впливає його походження, адже крохмаль, вилучений з різних рослин, відрізняється вмістом супутніх компонентів, співвідношенням амілози й амілопектину, типом кристалічності полісахаридів тощо (Yan

& Zhengbiao, 2010; Vanier, El Halal & Dias, 2017). Це актуалізує необхідності порівняльної характеристики фізико-хімічних властивостей модифікованого та нативного крохмалю різного походження.

Мета дослідження: порівняння фізико-хімічних властивостей зразків крохмалю нативного та крохмалепродуктів, наукового обґрунтування використання їх рецептурним компонентом у складі харчових продуктів для розроблення й удосконалення технологічних процесів.

Матеріали і методи. Для дослідження використано нативні крохмалі картоплі ТМ «Сто пудів» (ДСТУ 4286:2004) та кукурудзи ТМ «Август» (ДСТУ 3976:2000), а також крохмаль кукурудзяний модифікований окиснений Eugel FSM 85120 (E1412 — дикрохмальфосфат) виробництва ЗМЖК «Ювілейний» (ДСТУ 4380:2005). Авторами проведено дослідження з визначення гідрофільності структуроутворювачів індикаторно-рефрактометричним методом з використанням рефрактометра лабораторного ІРФ-454-Б2М. Вязкозиметричним методом визначали залежність в'язкості розведених розчинів біополімерів від їхньої молекулярної маси. Для визначення молекулярної маси використовували рівняння Марка–Куна–Хауїнка: $[\eta] = K \times M^{\alpha}$, де K й α — константи. Для цієї системи полімер–розчинник (крохмаль–вода) константи мають такі значення: $K = 1,32 \times 10^{-4}$, $\alpha = 0,68$. Для харчових продуктів важливими показниками є активна (істинна) та загальна (титрована) кислотність. Істинна кислотність характеризується концентрацією йонів Гідрогену та виражається величиною рН. Її визначали потенціометричним (електрометричним) методом з використанням іономіра універсального І-160 МІ. Загальну кислотність крохмалю, яка зумовлена присутністю в продукті фосфатів і сірчаної кислоти, використовуваних під час одержання його з кукурудзи та відбілювання картопляного крохмалю, визначали титриметрично. Статистичну обробку отриманих даних проводили з використанням програми та електронних таблиць MS Excel 2007. Методика SWOT-аналізу припускає максимально повний збір та аналіз інформації про товар і може допомогти технологу структурувати й оцінити переваги та недоліки товару.

Викладення основних результатів дослідження. Харчові продукти, з погляду хімії, це складні хімічні системи, яким притаманний комплекс різноманітних властивостей, які формують якість продукції та впливають на вибір технологічних процесів при приготуванні (Євлаш, 2017). Надання продуктам харчування необхідного зовнішнього вигляду, смаку й аромату є важливим завданням при їх виробництві. Знання реологічних характеристик сировини та готової продукції необхідні, оскільки від відповідності параметрів сировини визначеним вимогам і забезпечення контролю параметрів процесів на всіх стадіях виробництва залежить якість виробів і споживча привабливість.

Сьогодні розвивається тенденція підвищеної уваги до розроблення нових технологій отримання харчових виробів з використанням рослинної сировини, яка є джерелом вітамінів, мінеральних солей, макро- і мікроелементів, що чинять оздоровчу дію на організм людини. Науковці різних країн наполегливо працюють у напрямку розкриття цінних властивостей полісахаридів, що спонукає до широкого використання цих речовин.

Для визначення, які структуроутворювачі краще застосовувати при приготуванні харчових продуктів, експериментально визначено гідрофільність структуро-

утворювачів індикаторно-рефрактометричним методом (табл. 1). На основі експериментальних даних визначено, що досліджувані гідроколоїди можуть адсорбувати велику кількість води (табл. 1). Аналіз результатів для досліджуваних зразків підтвердив, що найкращу гідрофільність має крохмаль кукурудзяний модифікований Eugel FSM 85120, E1412 — 75% (що значно перевищує цей показник для крохмалю кукурудзяного нативного — 37%, та картопляного — 46%). Введення гідроколоїду в рідку харчову систему в процесі приготування драгледоподібного напівфабрикату приводить до зв'язування води, в результаті чого консистенція продукту змінюється. Підгрупа ефірів крохмалю включає модифіковані крохмалі, в яких до мономерів полісахаридних ланцюгів приєднані залишки хімічних речовин, зокрема ефірні (фосфатні групи). Введення в молекули полісахаридів крохмалю навіть незначної кількості радикалів дає змогу значно змінити властивості крохмалю — підвищити в'язкість і стабільність їх клейстерів, усунути тягучість і липкість, поліпшити стабілізуючу дію.

Процес клейстеризації гідроколоїдів є важливою технологічною властивістю, оскільки визначає консистенцію продукту. Клейстеризація біополімерів — це руйнування нативної структури, що супроводжується набряканням (Junqueira et al., 2018; Teimouri, Abbasi & Scanlon, 2018). У результаті дослідження процесу клейстеризації визначено температуру початку утворення клейстеру. Як видно з табл. 1, зразки нативних крохмалів клейстеризувалися при нижчих температурах. Дикрохмальфосфати (E1412) утворюють клейстери, стійкі до нагрівання і механічної дії.

Таблиця 1. Фізико-хімічні властивості досліджуваних зразків крохмалю, $t = 20^{\circ}\text{C}$

Найменування зразків	Кислотність, °	pH	Гідрофільність β , %	Температура клейстеризації, °C
Крохмаль картопляний ТМ «Сто пудів», E1400	13,22	6,9	46	65
Крохмаль кукурудзяний ТМ «Август», E1400	33,34	6,9	37	67
Крохмаль модифікований кукурудзяний Eugel FSM 85120, E1412	36,78	6,2	75	75

Рівень кислотності при виробництві продуктів харчування і напоїв — важливий показник стабільності якості та безпеки. Величина pH впливає на такі технологічні параметри: утворення компонентів смаку й аромату, характерних для конкретного виду продукту; колоїдну і термічну стабільність полідисперсної харчової системи; біологічну стійкість; активність ферментів; умови росту корисної мікрофлори і її вплив на процеси дозрівання (Vanier, El Halal & Dias, 2017). Суттєвий вплив на процеси клейстеризації має pH середовища. Найкраще драглювання для більшості гідроколоїдів відбувається при pH, що відповідає ізоелектричній точці ($\text{pH} = 4,8$). Зі зміною pH по обидві сторони від ізоелектричної точки макромолекули набувають однойменного заряду і між ними виникають сили відштовхування, зв'язок не утворюються. При додаванні надлишкових кількостей кислоти або лугу ступінь іонізації йоногенних груп зменшується і здатність до застигання знову збільшується (Євлаш, 2017).

Характерною властивістю драглів є синерезис. Із часом кількість зв'язків між полімерними ланцюгами в гелях збільшується. Структурна сітка гелю стискається й з нього виділяється частина розчинника, що містить незначну кількість розчиненого полімеру. На процес старіння гелю впливає процес гідролізу. Швидкість гідролізу залежить від концентрації та виду кислоти, температури й тривалості обробки. Всі відомі теорії механізму каталізу передбачають утворення активного комплексу H^+ з молекулами полісахариду. При цьому приєднання H^+ до кисню глюкозидного зв'язку збуджує і робить його лабільним. Чим вища їхня концентрація H^+ в системі, тим більшою є швидкість гідролізу гідроколідів. У міру старіння гелю (втрата гідрофільних властивостей при поступовому кислотному гідролізі) посилюється відділення рідини. Зростання кислотності на цьому етапі зумовлює пролонгацію відділення сироватки навіть після часткової структуризації гелю (Yuk, Hwang, & Lee, 2017). Можемо говорити про сповільнення процесів синерезису для крохмалю модифікованого кукурудзяного Eugel FSM 85120 (E1412) pH = 6,2.

Досліджувані гідроколіди як загущувачі харчових продуктів формують структуру гелю різної міцності, дають змогу отримувати продукти бажаної консистенції (Teimouri, Abbasi & Scanlon, 2018). Саме тому важливими є дослідження в'язкості водних розчинів гідроколідів. В'язкість розчинів гідроколідів залежить від розміру і форми їх молекул та конформацій у розчиннику. На основі отриманих експериментальних результатів розраховано основні характеристики в'язкості крохмальних клейстерів досліджуваних зразків різної концентрації (табл. 2). Як видно з даних табл. 2 та рис. 1, підвищення концентрації крохмальних клейстерів закономірно приводить до підвищення відносної в'язкості, причому така залежність зберігає лінійний характер, що добре узгоджується із закономірностями, відомими для інших полімерів.

Таблиця 2. В'язкісні характеристики водних розчинів досліджуваних зразків крохмалю різної концентрації

Концентрація розчину, г/л	Відносна в'язкість	Динамічна в'язкість, η , Па·с	Питома в'язкість, $\eta_{\text{пит}}$	Число в'язкості, г/л	Характеристична в'язкість, $[\eta]$	Молекулярна маса
Крохмаль картопляний ТМ «Сто пудів», Е1400						
20,0	23,0	$400,5 \times 10^{-4}$	44,0	2,200	0,482	173 352
10,0	7,5	$66,35 \times 10^{-4}$	6,45	0,640		
5,0	1,165	$10,36 \times 10^{-4}$	0,16	0,032		
Крохмаль кукурудзяний ТМ «Август», Е1400						
20,0	7,25	$64,53 \times 10^{-4}$	6,25	0,31	0,137	27259
10,0	2,5	$22,25 \times 10^{-4}$	1,5	0,15		
5,0	1,175	$10,46 \times 10^{-4}$	0,175	0,035		
Крохмаль модифікований кукурудзяний Eugel FSM 85120, Е1412						
20,0	4,9	$43,6 \times 10^{-4}$	3,90	0,195	0,051	6373
10,0	1,5	$13,35 \times 10^{-4}$	0,50	0,050		
5,0	1,25	$10,01 \times 10^{-4}$	0,125	0,0250		

Під час дослідження була визначена відносна, динамічна та характеристична в'язкість клейстерів крохмалів (табл. 2). Встановлено, що найменшу початкову динамічну в'язкість при 20°C має клейстер крохмалю модифікованого кукурудзяного Eugel FSM 85120 — $13,35 \times 10^{-4}$. Таке значення пов'язуємо із його структурою, значення молекулярної маси становить 6373. Результатом етерифікації є утворення крохмалю з короткими молекулярними ланцюгами. Динамічна в'язкість для зразків крохмалю картопляного ТМ «Сто пудів», крохмалю кукурудзяного ТМ «Август» становлять, відповідно, $66,35 \times 10^{-4}$, $22,25 \times 10^{-4}$. Чітко прослідковується закономірність: в'язкість розчинів біополімерів із більшою молекулярною масою вища за в'язкість розчинів, який складається з компактних молекул.

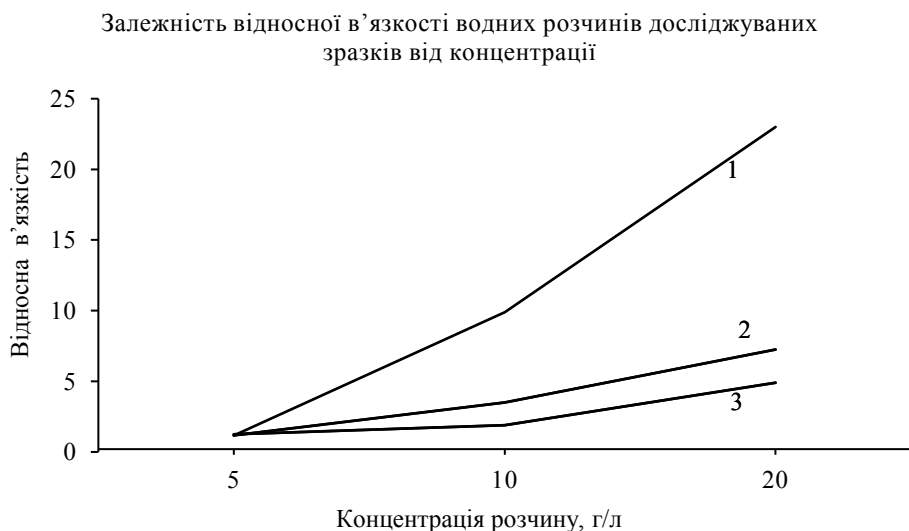


Рис. 1. Залежність відносної в'язкості крохмальних клейстерів від концентрації:
 1 — залежність відносної в'язкості для клейстерів крохмалю картопляного ТМ «Сто пудів»; 2 — залежність відносної в'язкості для клейстерів крохмалю кукурудзяного ТМ «Август»; 3 — залежність відносної в'язкості для клейстерів крохмалю модифікованого, кукурудзяного Eugel FSM 85120, E1412

Інструмент SWOT-аналізу, хоч і простий, проте може допомогти технологу структурувати й оцінити сильні та слабкі сторони товару, визначити, що потребує покращення.

Strengths. Результати фізико-хімічних властивостей нативних крохмалів картоплі ТМ «Сто пудів» та кукурудзи ТМ «Август», а також крохмалю кукурудзяного модифікованого окисненого Eugel FSM 85120 (E1412) виробництва ЗМЖК «Ювілейний», показують, що використання модифікованого крохмалю Eugel FSM 85120 (E1412) призводить до зниження ризику виникнення синерезису, покращення органолептичних показників і харчової цінності продукту, збільшення виходу готової продукції завдяки зниженню втрат під час теплової обробки, терміну зберігання та підвищення вологоутримувальної здатності продукту. Вищевикладене підтверджує перспективність використання Eugel FSM 85120 у

харчовій промисловості. Перевагою цієї харчової добавки є ціна, адже Eugel FSM 85120 виробництва ЗМЖК «Ювілейний» можна придбати за ціною, співмірною з ціною аналогічних товарів, представлених на ринку, та нижчою, ніж ціна агар-агару імпортного виробництва.

Weaknesses. Слабка інформованість споживачів про модифіковані крохмалі, їхні переваги та недоліки призводить до того, що цей продукт не затребуваний з боку споживачів. Модифікований крохмаль загалом відносять до безпечних добавок. Проте надмірне споживання речовини може спровокувати здуття живота, бактеріальне бродіння з подальшим порушенням кислотно-лужного балансу шлунково-кишкового тракту. Однак наукове обґрунтування в літературі не зустрічається.

Opportunities. Споживачі почали більше піклуватись про своє здоров'я. Прослідковується тенденція до зниження кількості споживання продуктів із вмістом шкідливих харчових добавок. А це свідчить про потребу впровадження нових продуктів на основі рослинної сировини, завоювання нових ринків збуту.

Threats. Проаналізуємо четвертий квадрант загрози. Цей квадрант дає змогу виявити фактори, які перешкоджають просуванню товару на ринку (нестабільна економічна та політична ситуація в країні, невизначеність майбутнього). Це практично нівелює довгострокове планування. Економічна криза буде сприяти тому, що продажі товарів скоротяться. Споживачі будуть користуватись дешевшими і традиційними (давно відомими) продуктами харчування, тобто буде відбуватися зниження купівельної здатності на продовольчому ринку. Значна частка споживачів є прихильниками традиційних продуктів харчування і не завжди готова до придбання нових товарів.

Висновки

На основі аналізу літературних джерел і результатів власних досліджень запропоновано нове розв'язання актуального науково-практичного завдання — виробництва економічно доступних виробів стабільної і високої якості, що здатні задовольнити невисоку купівельну спроможність населення України. Впровадження в склад продукту крохмалю етерифікованого (E1412) дасть змогу виготовляти продукцію при оптимальних теплових режимах, визначене значення рН для крохмалю модифікованого кукурудзяного (E1412) сприяє сповільненню процесів синерезису харчової системи, а значення гідрофільності сприятливо впливають на структурні властивості. Використання модифікованих крохмалів покращує технологічні властивості продуктів, полегшує ведення технологічного процесу, передбачає економічну привабливість їх використання і можливість заміни дорогих зразків харчових добавок на високоякісні та дешевші, якими є модифіковані крохмалі. На наступному етапі дослідження з метою керування фізико-хімічними, органолептичними й технологічними властивостями напівфабрикатів передбачається оцінити функціональну ефективність і синергетичний ефект застосування комбінацій гідроколідів (модифікованих крохмалів, агар-агару та гелланової камеді) у технологіях приготування харчових продуктів.

Література

Євлаш, В. В. (2017). Розробка науково обґрунтованих технологій продукції підвищеної харчової цінності з використанням структуроутворювачів різного походження. *Наукові праці НУХТ*, 23(5), 115—123.

Adeleke, O. A., Emmanuel, T. A. (2013). Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources: A review. *Starch : biosynthesis, nutrition, biomedical*, 66(1—2), 41—47. Взято з: <https://doi.org/10.1002/star.201300106>.

Junqueira, L. A., Amaral, T. N., Leite, O. N., Prado, M. E. T., Resende, J. V. (2018). Rheological behavior and stability of emulsions obtained from *Pereskia aculeata* Miller via different drying methods. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 21—35. Взято з: <http://doi.org/10.1080/10942912.2018.1437177>.

Khalil H. P. S. Abdul, Lai T. K., Tye Y. Y., Rizal S., Chong E. W. N., Yap S. W., Hamzah A. A., Fazita M. R. Nurul., Paridah M. T. (2018). A review of extractions of seaweed hydrocolloids: Properties and applications. *Express Polymer Letters*, 12(4), 296—317. Взято з: <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2018.27>.

Manoli, T., Nikitchina, T., Menchinska, A., Cui, Z., Barysheva, Y. (2021). The potential of uronide hydrocolloids for the formation of sensory characteristics of health products from hydrobionts. *Food Science & Technology*, 15(2), 42—49. Взято з: <https://doi.org/10.15673/fst.v15i2.2111>.

Teimouri, S., Abbasi, S., Scanlon, M. G. (2018). Stabilisation mechanism of various inulins and hydrocolloids: Milk–sour cherry juice mixture. *International Journal of Dairy Technology*, 71(1), 208—215. Взято з: <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12376>.

Vanier, N. L., El Halal, S. L. M., Dias, A. R. G. (2017). Molecular structure, functionality and applications of oxidized starches: A review. *Food Chemistry*, 221, 1546—1559. Взято з: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.138>.

Ward, K. A., Prentice, A., Kuh, D. L., Adams, J. E., Ambrosini, G. L. (2016). Life course dietary patterns and bone health in later life in a British birth cohort study. *J Bone Miner Res*, 31, 1167—1176. Взято з: <https://doi.org/10.1002/jbmr.2798>.

Yan, H., Zhengbiao, G. U. (2010). Morphology of modified starches prepared by different methods. *Food Research International*, 43(3), 767—772. Взято з: <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.815627>.

Yuk, G., Hwang, S., Lee, J. (2017). Enhanced stability of crude protease from kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) by adding hydrocolloid for organic processed food uses. *Food Biotechnology*, 31(3), 162—176. Взято з: <https://doi.org/10.1080/08905436.2017.1331451>.

MELISSOPALYNOLOGICAL STUDIES ON HONEYS FROM THE UKRAINIAN CARPATHIANS

L. Adamchuk

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
National Science Center "P. I. Prokopovich Institute of Beekeeping"

Key words:

Melissopalynology
Identification
Honey
Pollen grain
Pollen profile

Article history:

Received 14.01.2022
Received in revised form
25.01.2022
Accepted 03.02.2022

Corresponding author:

L. Adamchuk
E-mail:
leonora.adamchuk@
gmail.com

ABSTRACT

The issue of safety, quality, and identification of honey is considered by many scientists to be a top priority from the perspective of using this product in health nutrition. The melissopalynological analysis is used to identify the authenticity and origin of honey. Given the leadership of Ukraine in Europe and the world in the production and export of honey, as well as the need to identify the botanical and geographical origin of the national product, melissopalynological analysis of honey from different regions of Ukraine is an important area of research.

This study is aimed on determination the pollen profile of honey obtained in the Ukrainian Carpathians using the method of melissopalynology. The material of the research was six samples of honey of the brand "Med Karpat" obtained in 2020. The pollen profile of honey was investigated using the author's improved method of melissopalynological analysis and the online database of pollen grains PalDat. It was established that the pollen profile of honey obtained in the Ukrainian Carpathians is represented by 113 morphotypes of pollen grains of plants (99 of them are entomophilous, 14 are anemophilous), which belong to 43 taxonomic families. 14 morphotypes of pollen grains of endemic plant species of the Carpathians were identified, which may further serve to confirm the geographical indication. *Sambucus racemosa*, *Veronica baumgartenii*, *Hieracium atrellum*, *Leontodon repens*, *Acinos alpinus*, *Primula poloninensis*, *Thymus alternans*, *Achillea schurii*, *Cirsium waldsteinii*, *Hieracium wimmeri*, *Dianthus tenuifolius*, *Dentaria glandulosa*, *Galiurn transcarpaticum*, *Centaurea marmaro-siensis* belong to them. The studied samples of honey were classified as polyfloral species due to the lack of dominant pollen in the pollen profiles. The pollen profile of honey from the Ukrainian Carpathians contains 83 herbaceous plant species and 30 shrubs and trees.

МЕЛІСОПАЛІНОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕДІВ З УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Л. О. Адамчук

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Національний науковий центр «Інститут бджільництва ім. П. І. Прокоповича»

Питання безпеки, якості та ідентифікації меду розглядається багатьма науковцями як пріоритетне з огляду на використання цього продукту в оздоровчому харчуванні. Для ідентифікації натуральності та походження меду застосовують мелісопалінологічний аналіз. Зважаючи на першість України в Європі та світі з виробництва й експорту меду, а також на необхідність ідентифікації ботанічного та географічного походження національного продукту, мелісопалінологічне дослідження медів з різних регіонів України є актуальним.

У статті визначено пилковий профіль медів, отриманих в умовах Українських Карпат, із використанням методу мелісопалінології. Матеріалом слугували шість зразків меду торговельної марки «Мед Карпат», отриманих у 2020 році. Пилковий профіль меду досліджували, використовуючи авторську удосконалену методику мелісопалінологічного аналізу та онлайн дата-базу пилкових зерен PalDat. Встановлено, що пилковий профіль медів, отриманих в умовах Українських Карпат, представлений 113 морфотипами пилкових зерен рослин (з них 99 — ентомофілних, 14 — анемофілних), які належать до 43 таксономічних родин. Ідентифіковано 14 морфотипів пилкових зерен ендемічних видів рослин Карпат, які можуть у подальшому слугувати для підтвердження географічного зазначення. До таких належать: бузина червона, вероніка Баумгартена, нечуйвітер темнуватий, любочки повзучі, щербрушка Баумгартена, первоцвіт полонинський, чебрець чергововолосистий, деревій Шура, осот Вальдштейна, нечуйвітер Віммера, гвоздика тонколиста, зубниця залозиста, підмаренник закарпатський, волошка мармороська. Досліджені зразки меду віднесли до поліфлорних сортів через відсутність у пилкових профілях домінуючого пилку. Пилковий профіль меду з Українських Карпат містить 83 трав'янистих види рослин та 30 чагарників і дерев.

Ключові слова: мелісопалінологія, ідентифікація, мед, пилкове зерно, пилковий профіль.

Постановка проблеми. Питання безпеки, якості та ідентифікації меду розглядається багатьма науковцями як пріоритетне з огляду на використання цього продукту в оздоровчому харчуванні. Останні дослідження в цьому напрямку стосуються вивчення нових фізико-хімічних методик та їх поєднання у комплексних випробуваннях. Найчастіше натуральний мед фальсифікують кукурудзяним, рисовим сиропами, патокою цукрової тростини або підмінюють монофлорні сорти поліфлорними. Для ідентифікації натуральності та походження меду застосовують спектрофлуориметрію в поєднанні з багатокомпонентними

хіміометричними інструментами (Antônio, de Assis, Botelho & Sena, 2022), рідинну хроматографію надвисокого тиску з тандемним мас-спектрометром (UPLC-MS/MS) (Akyildiz et al., 2022), метабаркодування на основі високопродуктивного секвенування (Liu et al., 2022), мелісопалінологію та хімічні маркери для монофлорних сортів (Zhao et al., 2022). Однак найдоступнішими для практичного використання залишаються фізико-хімічні методи та мелісопалінологічний аналіз, окрім того, останній використовують для підтвердження географічного походження меду (Pospiech et al., 2021; Ghorab et al., 2021).

Зважаючи на першість України в Європі та світі з виробництва та експорту меду, а також на необхідність ідентифікації ботанічного та географічного походження національного продукту, мелісопалінологічне дослідження медів з різних регіонів України є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Мелісопалінологія передбачає аналізування й ідентифікацію пилоквих зерен та інших включень, наявних у меді, та дає відповідну інформацію про джерела пилку та нектару (рослини) в певному регіоні, що використовуються медоносними бджолами для його виробництва. Мелісопалінологічний аналіз використовується в багатьох країнах світу для визначення географічного й ботанічного походження меду та як аналітична інформація про кормові ресурси для бджіл (Dhawan, Pawar & Lokhande, 2018; Sahney, Rahi, Kumar & Jaiswal, 2018; de Moraes et al., 2019).

У Фінляндії вчені (Salonen, Ollikka, Grönlund, Ruottinen & Julkunen-Tiitto, 2009) користуються якісним модифікованим методом мелісопалінологічного аналізу, рекомендованим Міжнародною комісією з бджолоїної ботаніки (Von Der Ohe, Oddo, Piana, Morlot & Martin, 2004). Цей метод ліг в основу всіх похідних методик мелісопалінології, які використовуються у світі.

Модифікований метод мелісопалінологічного аналізу передбачає підготовку зразків меду для аналізу. Для цього 10 г меду розчиняють у 20 мл дистильованої води і центрифугують 10 хв на 3500 об/хв; супернатант утилізують, осад промивають 20 мл води. Супернатант знову видаляють після другого центрифугування впродовж 5 хв при 3500 об/хв, осад переносять за допомогою піпетки Пастера на предметне скло мікроскопа, яке залишають обезводнюватися, накривши аркушем паперу до наступного дня. Потім на осад наносять гліцерин-желатин Кайзера, накривають покривним склом і залишають сушитися протягом 24 год. Далі зразок досліджують під мікроскопом.

Результати якісного мелісопалінологічного аналізу із 734 проб меду, зібраних у Фінляндії (Salonen, Ollikka, Grönlund, Ruottinen, & Julkunen-Tiitto, 2009), дали змогу створити флористичний спектр рослин, що використовується медоносними бджолами, завдяки чому визначено найважливіші рослинні джерела ресурси для одержання меду в регіоні, встановлено географічну мінливість кормових ресурсів для бджіл у Фінляндії.

Вчені з Індії (Sahney, Rahi, Kumar & Jaiswal, 2018) досліджували мед зимнього періоду, зібраний у міських населених пунктах Аллахабаду, для виявлення важливих кормових рослин для бджіл цього регіону. Завдяки мелісопалінологічному аналізу меду було зафіксовано різноманітність 62 типи пилоквих зерен, серед них — 49 типів походять з ентомофільних таксонів, 13 — з анемофільних. Серед досліджених медів підтверджено монофлорність 13 зразків, решта — поліфлорні.

Подібні дослідження в штаті Махараштра (Індія) дали змогу встановити ботанічний спектр поліфлорного меду, що був представлений рослинами родин *Fabaceae*, *Asteraceae*, *Leguminosae*, *Amranthaceae*, *Convolvulaceae*, *Moringaceae*, *Cactaceae*, *Solanaceae* (Dhawan, Pawar & Lokhande, 2018).

У Колумбії мелісопалінологічний аналіз використали для ідентифікації монофлорного меду з культурних посівів *Trifolium repens* L. (Insuasty-Santacruz, Martínez-Benavides & Jurado-Gámez, 2017). Основні таксономічні види в меді належали до родин *Solanaceae*, *Brassicaceae* та *Fabaceae*, що було підставою визначити сорт як поліфлорний. Пилок *Trifolium repens* не був домінантним, але знаходився серед основних видів, досягаючи 20,9% у досліджених зразках.

Проведено мелісопалінологічний аналіз меду з регіону Чако провінції Тукуман (Аргентина) (Reyes, Albarracín, García & Espeche, 2019). Виявлено 54 морфологічні типи пилку, з них 14 видів, 25 родів і 15 родин рослин. 11 типів пилку були класифіковані як часто ідентифіковані, що дасть змогу підтверджувати географічне походження меду з цього регіону. Для 76% досліджуваних зразків, завдяки мелісопалінологічному аналізу, було підтверджено монофлорність, з них 46% зібрані з *Atamisquea emarginata*, 31% — *Mimosa pudica* і 23% — з *Prosopis* spp.

Медоносна флора центрально-східного регіону муніципалітету Пацкуаро, Міхоакан (Мексика), була вивчена під час мелісопалінологічного аналізу. Ідентифікували 93 види медоносних рослин, що належать до 33 ботанічних родин. Встановили, що для цього регіону родина *Asteraceae* є домінантною (Araújo-Mondragón & Redonda-Martínez, 2019). Подібні дослідження на вивчення пилкового спектра меду залежно від географічного та ботанічного походження проводили у Єгипті, Ємені (El Sohaimy, Masry & Shehata, 2015), Бразилії (Antônio, de Assis, Botelho, & Sena, 2022), Туреччині (Akyıldız et al., 2022), Китаї (Zhao et al., 2022) та інших країнах. Отже, мелісопалінологічний аналіз меду визнаний міжнародною науковою спільнотою ефективним для підтвердження походження меду і є ключовим інструментом для визначення сорту та створення пилкового профілю медів з різних регіонів України.

Мета дослідження: визначення пилкового профілю медів, отриманих в умовах Українських Карпат, із використанням методу мелісопалінології.

Матеріали і методи. Матеріалом слугували шість зразків меду, отримані з пасік ФОП Папп Віктор Васильович, торговельної марки «Мед Карпат» у 2020 році. Ці пасіки є плеємними та обмежені в доступі для різних антропологічних чинників, що забезпечило мінімізацію контамінації та впливу на якість меду, який одержували впродовж одного активного медозбірного сезону. Передані зразки меду ідентифіковано як яфін-мед з карпатських гір — зразок № 2002, «Високогірний збір» — зразок № 2003, «Першоквітний» зразок — № 2004; «Мед Вейріха» — зразок № 2005, «Дикий мед» — зразок № 2006, «Травневий збір» — зразок № 2009.

Пилковий профіль меду досліджували, використовуючи авторську удосконалену методику мелісопалінологічного аналізу (Adamchuk, 2020). Ідентифікацію пилкових зерен проводили, використовуючи онлайн дата-базу пилкових зерен PalDat (<https://www.palдат.org/>) з використанням модельного харчового середовища (патент UA 144626 «Спосіб одержання модельного харчового середовища

для депозитарію стандартних зразків пилоквих зерен для їх ботанічної ідентифікації у меді»).

Викладення основних результатів дослідження. У результаті проведення мелісопалінологічного аналізу шести зразків виявили 113 морфотипів пилоквих зерен, що належали до 43 родин. Серед них 99 типів пилку належало ентомофільним рослинам, а 14 типів — анемофільним (табл. 1, 2).

Визначено, що пилковий профіль меду з Українських Карпат складається з 83 трав'янистих видів рослин та 30 чагарників і дерев. З них виокремили 15 морфотипів пилку, які належали ендемічним рослинам Карпат (табл. 3).

Географічне зазначення меду чітко вказує на походження меду та виключає ряд фальсифікацій, пов'язаних із підмінною цінних сортів на низьковартісні. Тому оцінювання меду за цим параметром і створення окремих ідентифікаторів є актуальним напрямком досліджень у світі (Tsagkaris et al., 2021; Terrab et al., 2021).

Окрім того, у разі, коли походження меду невідоме, географічний ідентифікатор може допомогти відстежити виробництво меду в системі НАССР. Для підтвердження географічного походження можна використати перелік ендемічних видів рослин, які поширені лише в регіоні Українських Карпат (табл. 3). До таких належать: бузина червона, вероніка Баумгартена, нечуйвітер темнуватий, любочки повзучі, щербрушка Бумгартена, первоцвіт полонинський, чебрець чергововолосистий, деревій Шура, осот Вальдштейна, нечуйвітер Віммера, гвоздика тонколиста, зубниця залозиста, підмаренник закарпатський, волошка марморська.

Таблиця 1. Перелік морфотипів пилоквих зерен анемофільних рослин, ідентифікованих у меді з Українських Карпатах

Вид/рід рослин	Родина	Форма
<i>Sambucus nigra</i> , <i>S. racemosa</i> , <i>Viburnum opulus</i>	<i>Adoxaceae</i>	Ч/Д
<i>Chenopodium</i> spp.	<i>Amaranthaceae</i>	Т
<i>Rhus</i> spp.	<i>Anacardiaceae</i>	Д
<i>Alnus incana</i>	<i>Betulaceae</i>	Д
<i>Corylus avellana</i>	<i>Betulaceae</i>	Ч
<i>Atriplex tatarica</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	Т
<i>Convolvulus arvensis</i>	<i>Convolvulaceae</i>	Т
<i>Quercus</i> spp., <i>Fagus</i> spp.	<i>Fagaceae</i>	Д
—	<i>Pinaceae</i>	Д
—	<i>Poacea</i>	Т
<i>Rumex</i> spp.	<i>Polygonaceae</i>	Т

Примітка: Д — дерева; Ч — чагарники; Т — трав'яниста рослинність.

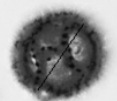
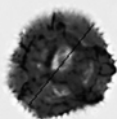
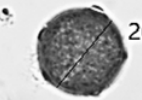
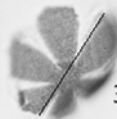
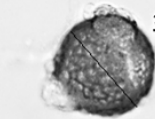
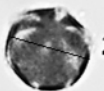
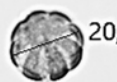
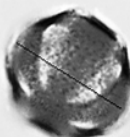
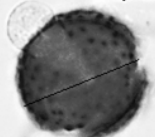
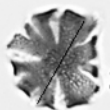
Наявність домінуючого пилку в пробі меду свідчить про приналежність його до певного ботанічного сорту. Згідно з українським законодавством цей відсоток повинен становити не менше ніж 30, а для медів з липи та акації — 20 (наказ МінАПК № 330 від 19.06.2019). За гармонізованими міжнародними методиками домінуючим вважається пилок, який міститься у кількості понад 45% (Von Der Ohe, Oddo, Piana, Morlot & Martin, 2004; Adamchuk, 2020).

Таблиця 2. Перелік морфотипів пилоквих зерен ентомофільних рослин, ідентифікованих у меді з Українських Карпат

Вид/рід рослин	Родина	Форма
<i>Angelica archangelica</i>	<i>Apiaceae</i>	Т
<i>Achillea schurii</i> , <i>Antennaria dioica</i> , <i>Arnica montana</i> , <i>Artemisia</i> spp., <i>Bellis perennis</i> , <i>Carduus pycnocephalus</i> , <i>C. carpatica</i> , <i>C. jacea</i> , <i>C. marmarosiensis</i> , <i>Cichorium intybus</i> , <i>Cirsium arvense</i> , <i>Cirsium</i> <i>waldsteinii</i> , <i>Doronicum hungaricum</i> , <i>Erigeron acer</i> , <i>Erigeron</i> <i>canadensis</i> , <i>Gnaphalium norvegicum</i> , <i>Hieracium atrellum</i> , <i>H.</i> <i>wimmeri</i> , <i>Leontodon repens</i> , <i>Petasites hybridus</i> , <i>Senecio vulgaris</i> , <i>Solidago canadensis</i> , <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Tussilago farfara</i>	<i>Asteraceae</i>	Т
<i>Impatiens glandulifera</i>	<i>Balsaminaceae</i>	Т
<i>Anchusa azurea</i> , <i>Cynoglossum officinale</i> , <i>Nonea</i> spp.	<i>Boraginaceae</i>	Т
<i>Alyssum hirsutum</i> , <i>Barbarea vulgaris</i> , <i>Dentaria glandulosa</i>	<i>Brassicaceae</i>	Т
<i>Campanula glomerata</i> , <i>C. patula</i>	<i>Campanulaceae</i>	Т
<i>Cerastium fontanum</i> , <i>Dianthus tenuifolius</i> , <i>Silene dichotoma</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	Т
<i>Euonymus</i> spp.	<i>Celastraceae</i>	Ч
<i>Cornus mas</i>	<i>Cornaceae</i>	Ч/Д
<i>Sedum</i> spp.	<i>Crassulaceae</i>	Т/Ч
<i>Calluna vulgaris</i> , <i>Ledum palustre</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i>	<i>Ericaceae</i>	Ч
<i>Caragana arborescens</i>	<i>Fabaceae</i>	Ч/Д
<i>Gleditsia triacanthos</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Fabaceae</i>	Д
<i>Amorpha fruticosa</i> , <i>Astragalus glycyphyllos</i> , <i>Hedysarum</i> <i>hedysaroides</i> , <i>Lathyrus rotundifolius</i> , <i>Melilotus officinalis</i> , <i>Trifolium</i> <i>repens</i> , <i>Vicia cracca</i>	<i>Fabaceae</i>	Т
<i>Gentiana pneumonanthe</i>	<i>Gentianaceae</i>	Т
<i>Ribes rubrum</i>	<i>Grossulariaceae</i>	Ч
<i>Hypericum perforatum</i>	<i>Hypericaceae</i>	Т
<i>Iris</i> spp.	<i>Iridaceae</i>	Т
<i>Salvia verticillata</i> , <i>Thymus serpyllum</i>	<i>Lamiaceae</i>	Ч
<i>Acinos alpinus</i> , <i>Ajuga reptans</i> , <i>Galeopsis</i> spp., <i>Lamium galeobdolon</i> , <i>Marrubium vulgare</i> , <i>Origanum vulgare</i> , <i>Thymus alternans</i>	<i>Lamiaceae</i>	Т
<i>Althaea officinalis</i>	<i>Malvaceae</i>	Т
<i>Tilia europaea</i>	<i>Malvaceae</i>	Д
<i>Epilobium angustifolium</i>	<i>Onagraceae</i>	Т
<i>Euphrasia rostkoviana</i> , <i>Melampyrum sylvaticum</i>	<i>Orobanchaceae</i>	Т
<i>Chelidonium majus</i>	<i>Papaveraceae</i>	Т
<i>Veronica baumgartenii</i>	<i>Plantaginaceae</i>	Т
<i>Persicaria weyrichii</i>	<i>Polygonaceae</i>	Т
<i>Androsace lactea</i> , <i>Lysimachia nemorum</i> , <i>Lysimachia vulgaris</i> , <i>Primula poloninensis</i>	<i>Primulaceae</i>	Т
<i>Anemone</i> spp., <i>Aquilegia nigricans</i> , <i>Caltha palustris</i> , <i>Ficaria verna</i> , <i>Helleborus</i> spp.	<i>Ranunculaceae</i>	Т
<i>Frangula alnus</i>	<i>Rhamnaceae</i>	Ч
<i>Crataegus monogyna</i> , <i>Rosa acicularis</i> , <i>Rubus fruticosus</i> , <i>R. idaeus</i>	<i>Rosaceae</i>	Ч
<i>Fragaria vesca</i> , <i>Potentilla argentea</i>	<i>Rosaceae</i>	Т
<i>Cruciata laevipes</i> , <i>Galium odoratum</i>	<i>Rubiaceae</i>	Т
<i>Salix alba</i> , <i>S. caprea</i>	<i>Salicaceae</i>	Ч/Д
<i>Scrophularia nodosa</i>	<i>Scrophulariaceae</i>	Т
<i>Lycium barbarum</i>	<i>Solanaceae</i>	Ч
<i>Verbena officinalis</i>	<i>Verbenaceae</i>	Т
<i>Viola odorata</i> , <i>V. tricolor</i>	<i>Violaceae</i>	Т

Примітка: Д — дерева; Ч — чагарники; Т — трав'яниста рослинність.

Таблиця 3. Ендемічні види рослин, які засвідчують географічне походження меду з Українських Карпат

Рослина	Пилкове зерно	Рослина	Пилкове зерно
Бузина червона <i>Sambucus racemosa</i>	 14,26um	Деревій Шура <i>Achillea schurii</i>	 19,68um
Вероніка Баумгартена <i>Veronica baumgartenii</i>	 36,80um	Осот Вальдштейна <i>Cirsium waldsteinii</i>	 22,53um
Нечуйвітер темнуватий <i>Hieracium atrellum</i>	 19,69um	Нечуйвітер Віммера <i>Hieracium wimmeri</i>	 25,32um
Любочки повзучі <i>Leontodon repens</i>	 28,83um	Гвоздика тонколиста <i>Dianthus tenuifolius</i>	 26,23um
Щебрушка Баумгартена <i>Acinos alpinus</i>	 34,34um	Зубниця залозиста <i>Dentaria glandulosa</i>	 31,80um
Первоцвіт полонинський <i>Primula poloninensis</i>	 23,72um	Підмаренник закарпатський <i>Galiurn transcarpaticum</i>	 20,38um
Чебрець чергововолосистий <i>Thymus alternans</i>	 36,38um	Волошка мармороська <i>Centaurea marmarosiensis</i>	 28,45um
Не ідентифіковано	 27,07um		

Згідно з отриманими результатами досліджень, домінуючий пилок був відсутній, що вказує на поліфлорність меду. Пилковий профіль досліджених зразків меду наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Пилковий профіль медів з Українських Карпат

№ Зразка	Абсолютна кількість пилку (шт./препарат)	Кількість морфотипів пилкових зерен			
		Домінуючий пилкок $\geq 45\%$	Вторинний пилкок 16—45%,	Незначний пилкок $\leq 16\%$	Включення $\leq 1\%$
2002	2240	0	1	16	32
2003	1460	0	1	18	12
2004	1440	0	1	11	7
2005	1630	0	0	18	10
2006	1600	0	0	16	11
2009	980	0	1	12	5

Вторинний пилкок яфін-меду (зразок 2002, рис. 1) був представлений на 28,1% чорницею (*Vaccinium myrtillus*). Незначний пилкок (53%) містив пилкові зерна *Achillea schurii* (11,6%), *Centaurea marmarosiensis* (6,7%), *Impatiens glandulifera* (4,5%), *Dianthus tenuifolius* (3,1%), *Lamium galeobdolon* (3,1%), *Thymus alternans* (3,1%), *Hypericum perforatum* (2,7%), *Erigeron acer* (2,2%), *Frangula alnus* (2,2%), *Senecio vulgaris* (2,2%), *Cirsium waldsteinii* (1,8%), *Ficaria verna* (1,8%), *Sambucus racemosa* (1,8%), *Angelica archangelica* (1,3%), *Centaurea jacea* (1,3%), *Viola odorata* (1,3%).

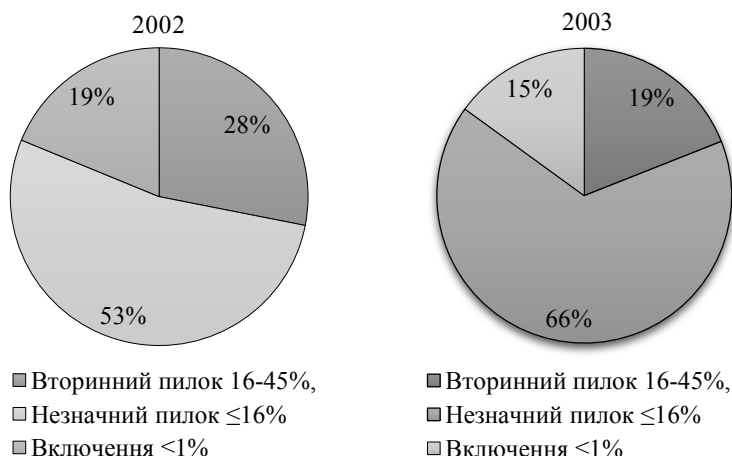


Рис. 1. Пилкові профілі медів з Українських Карпат: зразки 2002, 2003

Включення яфін-меду були представлені 32 морфотипами пилку, що кількісно переважає інші зразки меду. Вторинний пилкок меду «Високогірний збір» (зразок 2003, рис. 1) був представлений на 19% волошкою карпатською (*Centaurea carpatica*). Незначний пилкок (66%) містив пилкові зерна *Rubus idaeus* (11,0%), *Trifolium* spp. (5,0%), *Centaurea marmarosiensis* (4,0%), *Chelidonium majus* (4,0%), *Frangula alnus* (4,0%), *Hypericum perforatum* (4,0%), *Ajuga reptans* (3,0%), *Epilobium angustifolium* (3,0%), *Hedysarum hedysaroides* (3,0%), *Lamium* spp. (3,0%), *Melampyrum sylvaticum* (3,0%), *Potentilla argentea* (3,0%), *Quercus* spp. (3,0%), *Amorpha fruticosa* (2,0%), *Cynoglossum officinale* (2,0%), *Galeopsis* spp. (2,0%), *Rosa acicularis* (2,0%), *Scrophularia nodosa* (2,0%), включення іншого пилку — 15%.

Вторинний пилок меду «Першоквітний» (зразок 2004, рис. 2) представлений на 36,0% вербою козячою (*Salix caprea*), яка є дводомною рослиною. Тобто пилок не вказує на присутність нектару у складі меду. Незначний пилок (55%) містив пилкові зерна *Anemone* spp. (11,0%), *Brassicaceae* (10,0%), *Euonymus* spp. (7,0%), *Crataegus monogyna* (6,0%), *Iridaceae* (6,0%), *Fabaceae* (3,0%), *Helleborus* spp. (3,0%), *Viburnum opulus* (3,0%), *Ajuga reptans* (2,0%), *Caragana arborescens* (2,0%), *Salix alba* (2,0%), включення пилку 9%.

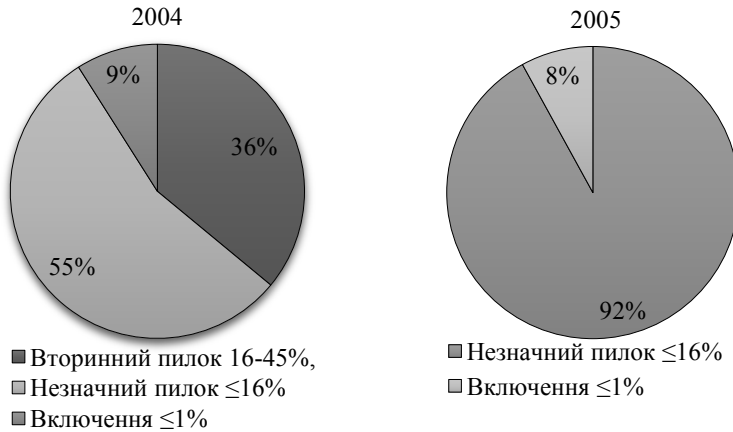


Рис. 2. Пилкові профілі медів з Українських Карпат: зразки 2004, 2005

Мед Вейріха (зразок 2005, рис. 2) та «Дикий мед» (зразок 2006, рис. 3) не містили вторинного, у цих зразках значну частку займав незначний пилок — 92% і 89% відповідно.

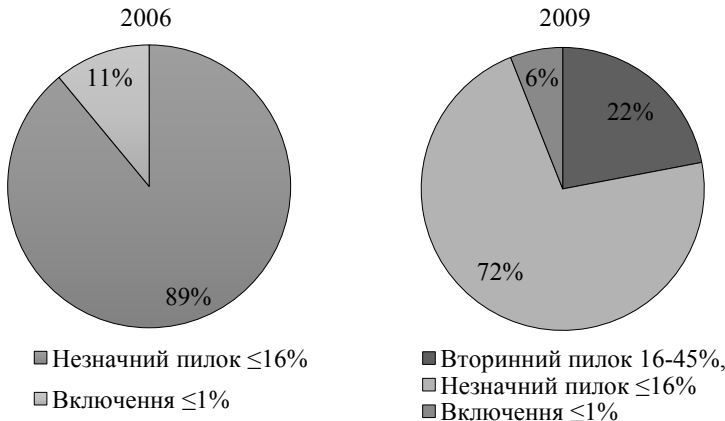


Рис. 3. Пилкові профілі медів з Українських Карпат: зразки 2006, 2009

Пилковий профіль меду Вейріха був представлений *Solidago canadensis* (13,0%), *Persicaria weyrichii* (10,0%), *Impatiens glandulifera* (8,0%), *Centaurea*

marmarosiensis (7,0%), *Artemisia* spp. (6,0%), *Carduus pycnocephalus* (6,0%), *Angelica archangelica* (4,0%), *Antennaria dioica* (4,0%), *Arnica montana* (4,0%), *Erigeron canadensis* (4,0%), *Marrubium vulgare* (4,0%), *Cruciata laevipes* (3,0%), *Galeopsis* spp. (3,0%), *Rumex* spp. (3,0%), *Atriplex tatarica* (2,0%), *Gnaphalium norvegicum* (2,0%), *Thymus serpyllum* (2,0%), *Vicia cracca* (2,0%), *Althaea officinalis* (1,0%), *Androsace lactea* (1,0%), *Brassicaceae* (1,0%), *Chenopodium* spp. (1,0%), *Cichorium intybus* (1,0%), *Epilobium angustifolium* (1,0%), *Nonea* spp. (1,0%), *Rosoideae* (1,0%), *Salvia verticillata* (1,0%), *Trifolium repens* (1,0%).

«Дикий мед» (зразок 2006, рис. 3) містив 15% падевих елементів, унаслідок чого відносимо його до квітково-падевого меду за походженням сировини. Його пилковий профіль був представлений *Ajuga reptans* (14,0%), *Persicaria weyrichii* (11,0%), *Amorpha fruticosa* (10,0%), *Sedum* spp. (6,0%), *Trifolium* spp. (6,0%), *Centaurea marmarosiensis* (4,0%), *Rosoideae* (4,0%), *Lycium barbarum* (3,0%), *Anchusa azurea* (2,0%), *Astragalus glycyphyllos* (2,0%), *Calluna vulgaris* (2,0%), *Fragula alnus* (2,0%), *Lathyrus rotundifolius* (2,0%), *Marrubium vulgare* (2,0%), *Ranunculaceae* (2,0%), *Angelica archangelica* (1,0%), *Bellis perennis* (1,0%), *Cichorium intybus* (1,0%), *Epilobium angustifolium* (1,0%), *Ledum palustre* (1,0%), *Lysimachia nemorum* (1,0%), *Rhus* spp. (1,0%), *Silene dichotoma* (1,0%), *Solidago canadensis* (1,0%), *Thymus serpyllum* (1,0%), *Verbena officinalis* (1,0%).

Вторинний пилок меду «Травневий збір» (зразок 2009, рис. 3) був представлений на 22% барбарисом (*Barbarea vulgaris*). Незначний пилок (72%) містив 36% морфотипів пилових зерен дерев *Robinia pseudoacacia* (14,0%), *Crataegus* spp. (12,0%), *Quercus* spp. (3,0%), *Alnus* spp. (5,0%), 15% — кущів *Rubus fruticosus* (8,0%), *Sambucus nigra* (7,0%) та 23% — трав'янистих видів *Anemone* spp. (11,0%), *Ajuga reptans* (3,0%), *Cerastium fontanum* (3,0%), *Doronicum hungaricum* (2,0%), *Fragaria vesca* (2,0%), *Iris* spp. (2,0%). Включення меду «Травневий збір» були представлені 6 морфотипами пилку, що найменше серед інших зразків меду.

Висновки

Пилковий профіль медів, отриманих в умовах Українських Карпат, представлений 113 морфотипами пилових зерен рослин (з них 99 — ентомофільних, 14 — анемофільних), які належать до 43 таксономічних родин. Ідентифіковано 14 морфотипів пилових зерен ендемічних видів рослин Карпат, які можуть у подальшому слугувати для підтвердження географічного зазначення. Досліджені зразки меду віднесли до поліфлорних сортів через відсутність у пилових профілях домінуючого пилку.

На наступних етапах перспективним буде дослідження пилового спектра монофлорних сортів і медів, отриманих з інших природо-кліматичних зон або окремих регіонів України.

Література

Адамчук, Л., Дудченко, Н., Генгалю, Н. & Пилипко К. (2021). Характеристика українських падевих медів. *Продовольчі ресурси*, 9(16), 6—19. <https://doi.org/10.31073/foodresources2021-16-01>.

Adamchuk, L. (2020). Improvement of the method of botanical identification of honey. *Food Science and Technology*, 14(4), 33—42. <https://doi.org/10.15673/fst.v14i4.1895>.

- Akyıldız, İ. E., Uzunöner, D., Raday, S., Acar, S., Erdem, Ö., & Damarlı, E. (2022). Identification of the rice syrup adulterated honey by introducing a candidate marker compound for Brown rice syrups. *LWT*, 154, 112618. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112618>.
- Antônio, D. C., de Assis, D. C. S., Botelho, B. G., & Sena, M. M. (2022). Detection of adulterations in a valuable Brazilian honey by using spectrofluorimetry and multiway classification. *Food Chemistry*, 370, 131064. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131064>.
- Araujo-Mondragón, F., & Redonda-Martínez, R. (2019). Flora melífera de la región centro-este del municipio de Pátzcuaro, Michoacán, México. *Acta botánica mexicana*, (126), e1444. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1444>.
- de Moraes, F. J., Garcia, R. C., Galhardo, D., Camargo, S. C., Pires, B. G., Pereira, D. J., & de Sousa, P. H. A. A. (2019). Pollen analysis of honey samples produced in the counties of Santa Helena and Terra Roxa, Western Region of Paraná, Southern Brazil. *Sociobiology*, 66(2), 327—338. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v66i2.3680>.
- Dhawan, A. S., Pawar, K. W., & Lokhande, A. A. (2018). Analysis of pollen grains in different honey samples from the region of Newasa tehsil in Maharashtra. *J. Pharmacogn. Phytochem*, 7(3), 3438—3442. Available at: <https://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue3/PartAU/7-3-468-245.pdf>.
- El Sohaimey, S. A., Masry, S. H. D., & Shehata, M. G. (2015). Physicochemical characteristics of honey from different origins. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), 279—287. <https://doi.org/10.1016/j.aas.2015.10.015>.
- Ghorab, A., Rodríguez-Flores, M. S., Nakib, R., Escuredo, O., Haderbache, L., Bekdouche, F., & Seijo, M. C. (2021). Sensorial, melissopalynological and physico-chemical characteristics of honey from Babors Kabylia's Region (Algeria). *Foods*, 10(2), 225. <https://doi.org/10.3390/foods10020225>.
- Insuasty-Santacruz, E., Martínez-Benavides, J., & Jurado-Gámez, H. (2017). Determinación melisopalinológica de miel de abejas Apis mellifera producida con flora de clima frío, principalmente *Trifolium repens* L. *Revista Veterinaria y Zootecnia (On Line)*, 11(1), 74—82. <https://doi.org/10.17151/vetzo.2017.11.1.6>.
- Liu, S., Lang, D., Meng, G., Hu, J., Tang, M., & Zhou, X. (2022). Tracing the origin of honey products based on metagenomics and machine learning. *Food Chemistry*, 371, 131066. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131066>.
- PalDat — Palynological Database an online publication on recent pollen.* AutPal — Society for the Promotion of Palynological Research in Austria. ZVR-Zahl: 378481059. Department of Botany and Biodiversity Research. University of Vienna. Available at: <https://www.paldat.org/>.
- Pospiech, M., Javůrková, Z., Hrabec, P., Čížková, H., Titěra, D., Štarha, P., ... & Tremlová, B. (2021). Physico-Chemical and Melissopalynological Characterization of Czech Honey. *Applied Sciences*, 11(11), 4989. <https://doi.org/10.3390/app11114989>.
- Reyes, N. J., Albarracín, V. N., García, M. E., & Espeche, M. L. (2019). Caracterización palinológica de la miel de un sector de la región chaqueña de la provincia de Tucumán (Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 54(3), 1—10. DOI: <http://dx.doi.org/10.31055/1851.2372.v54.n3.25360>.
- Sahney, M., Rahi, S., Kumar, A., & Jaiswal, R. (2018). Melissopalynological studies on winter honeys from Allahabad, Uttar Pradesh, India. *Palynology*, 42(4), 540—552. <https://doi.org/10.1080/01916122.2017.1418445>.
- Salonen, A., Ollikka, T., Grönlund, E., Ruottinen, L., & Julkunen-Tiitto, R. (2009). Pollen analyses of honey from Finland. *Grana*, 48(4), 281—289. <https://doi.org/10.1080/00173130903363550>.
- Terrab, A., Moujanni, A., Essamadi, A. K., Hernanz, D., Díez, M. J., & Berjano, R. (2021). A palynological and geographical characterization of labeled resin spurge honey: *Euphorbia resinifera*. *Palynology*, 1933639. <https://doi.org/10.1080/01916122.2021.1933639>.
- Tsagkaris, A. S., Koulis, G. A., Danezis, G. P., Martakos, I., Dasenaki, M., Georgiou, C. A., & Thomaidis, N. S. (2021). Honey authenticity: analytical techniques, state of the art and challenges. *RSC Advances*, 11(19), 11273—11294. <https://doi.org/10.1039/D1RA00069A>.
- Von Der Ohe, W., Oddo, L. P., Piana, M. L., Morlot, M., & Martin, P. (2004). Harmonized methods of melissopalynology. *Apidologie*, 35(1), 18—25. <https://doi.org/10.1051/apido:2004050>.
- Zhao, L., Ren, C., Xue, X., Lu, H., Wang, K., & Wu, L. (2022). Safflomin A: A novel chemical marker for *Carthamus tinctorius* L.(Safflower) monofloral honey. *Food Chemistry*, 366, 130584. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130584>.

USING THE BLACK CURRANT BERRIES FOR PRODUCTION OF POWDERACEOUS DIETETIC SUPPLEMENTS

G. Simakhina, N. Naumenko

National University of Food Technologies

Key words:

Health

Dietetic supplements

Black currant

Biocomponents

Immunity

Urbanization

Article history:

Received 18.01.2022

Received in revised form
31.01.2022

Accepted 14.02.2022

Corresponding author:

G. Simakhina

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Regarding today's urbanization conditions, along with the constant impact of negative external factors and the consequences of two-year coronavirus pandemic, the human body specially requires the additional endo- and exogenous reserves to maintain the state of health and fight specific and unspecific diseases. Therefore, the essential role would belong to dietetic supplements on the base of plant, animal or bacterial raw materials. Due to biocomponent composition, the dietetic supplements are effective for both preventive and curative purposes. They can replenish the body with the biologically active complexes, compensate the excessive psychic and nervous strengths, and provide the high immune and tonic statuses.

Meantime, dietetic supplements are quite convenient to use as either pharmaceuticals or foodstuffs with special destination. Owing to the fact that they contain only natural components, they get immediately involved into metabolic processes in the body without causing any toxic and allergic impacts.

The authors of the article, having based on numerous experimental data, studied the biochemical compound of various black currant sorts as the raw materials for production of dietetic supplement to use as polyfunctional fortifiers for different food bases. There was also shown that black-currant dietetic supplements are capable of making the complex (adaptogenous as well) influence on separate organs and systems, correction of immunological mechanisms and the psychological and physiological statuses of the body as a whole. All the noticed forced the authors to conclude that the human of today's urbanized society, upon keeping up to traditional diets, appears to be deprived of many precious biocomponents, which, in turn, leads to emergence and development of alimentary-based ailments. The search for alternative ways to solve this problem explains the necessity to elaborate the wide range of dietetic supplements from natural raw materials.

ВИКОРИСТАННЯ ЯГІД ЧОРНОЇ СМОРОДИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПОРОШКОПОДІБНИХ ДІЄТИЧНИХ ДОБАВОК

Г. О. Сімахіна, Н. В. Науменко

Національний університет харчових технологій

У нинішніх умовах урбанізації, постійного впливу негативних зовнішніх чинників, до яких протягом останніх двох років долучилися наслідки коронавірусної пандемії, організм людини особливо потребує додаткових ендо- та екзогенних резервів для підтримання на належному рівні стану здоров'я, боротьби зі специфічними і неспецифічними захворюваннями. І тут незамінну роль відіграють дієтичні добавки на основі сировини рослинного, тваринного, бактеріального походження. Завдяки біокомпонентному складові дієтичні добавки ефективні як з профілактичною, так і з лікувальною метою. Вони поповнюють організм комплексами біологічно активних речовин, компенсують додаткові психологічні та нервово-емоційні навантаження, забезпечують високий імунний та загальнозміцнюючий статус.

Водночас дієтичні добавки досить зручні для споживання як у вигляді лікарських форм, так і в складі харчових продуктів спеціального призначення. Оскільки вони містять лише натуральні компоненти, то відразу включаються в процеси метаболізму в організмі людини, не викликаючи токсично-алергічних впливів.

У статті на основі численних експериментальних даних вивчено біохімічний склад різних сортів ягід чорної смородини як сировини для виробництва дієтичних добавок, які доцільно застосовувати як поліфункціональні збагачувачі різних харчових середовищ; показано, що дієтичні добавки з ягід чорної смородини здатні справляти комплексний (у тому числі адаптогенний) вплив на окремі органи і системи, корегувати імунологічні механізми, психологічний та фізіологічний статус усього організму. Зроблено висновок, що людина сучасного урбанізованого суспільства при традиційному харчуванні позбавлена багатьох цінних біокомпонентів, що призводить до виникнення і розвитку різноманітних аліментарних захворювань. Пошук альтернативних шляхів вирішення цієї важливої проблеми показує необхідність розроблення широкого спектра дієтичних добавок із природної сировини.

Ключові слова: здоров'я, дієтичні добавки, чорна смородина, біокомпоненти, імунітет, урбанізація.

Постановка проблеми. Вчені та практики в галузі харчових технологій, медици, фізіологи, гігієністи впевнені в тому, що XXI століття стане століттям здорового харчування як запоруки належного стану здоров'я населення, підвищення якості життя, поліпшення екологічного навколишнього середовища і в цілому — встановлення гармонії людини з природою.

Проблема співвідношення структури харчування і стану здоров'я людини має таку ж давню історію, як і саме людство. В усі часи люди прагнули використовувати природні дари і як харчування, і як ліки.

У сучасних умовах техногенних катастроф, шкідливих наслідків використання атомної та інших видів енергії, зuboжіння ґрунтів на мінеральні елементи, загального погіршення екологічної ситуації проблема захисту внутрішнього середовища організму людини від усіх цих чинників набирає особливої актуальності. І ключова роль у цьому належить дієтичним добавкам, адже всі їхні складники — білки, жири, вуглеводи, вітаміни, мінеральні речовини тощо, необхідні для нормальної життєдіяльності організму, надходять переважно з їжею і засвоюються в результаті їх біотрансформації, перетравлювання та всмоктування. Перетворюючись у процесах метаболізму на структурні та функціональні елементи клітин організму, БАР забезпечують його фізичну та розумову витривалість, визначають стан здоров'я та працездатність. Нестача в раціоні тих чи тих БАР неминуче призводить до негативних наслідків.

Тому перед харчовими галузями промисловості постали принципово нові завдання, які не можна вирішити простим кількісним нарощуванням обсягів виробництва харчових продуктів. Важливого значення набуває необхідність широкого використання при розробленні продуктів і раціонів харчування біологічно активних речовин на основі останніх досягнень у галузі медицини, нутриціології, біології, екології та харчових технологій, у тому числі у складі дієтичних добавок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вітчизняний ринок насичений різноманітною харчовою продукцією, і споживач має право широкого вибору. З другого боку, частка оздоровчих продуктів, на відміну від провідних країн світу, складає не більш ніж 8...10% усього асортименту. І це при тому, що попит на здорову продукцію неухильно зростає і зростатиме, оскільки її позитивний вплив на стан здоров'я людини незаперечно констатований численними дослідженнями в усьому світі. Забезпечення населення здоровою продукцією має перетворитись на магістральний напрям соціально-економічного розвитку (Сімахіна & Науменко, 2016; Сімахіна, 2004).

Інтеграція нашої країни у європейську та світову спільноту диктує вітчизняним виробникам необхідність інноваційного шляху в харчовій промисловості, пов'язаного передусім зі створенням та інтенсивним розвитком індустрії здорового харчування і дієтичних добавок (Сімахіна & Науменко, 2016; Сімахіна, 2004) як їхнього важливого складника (Український, 2019; Петровський & Лебединець, 2019).

Саме здорова продукція повинна створюватись на основі найсучасніших технологій, відзначатись найвищою якістю, найнижчими цінами, доведеною ефективністю і найширшими можливостями задовольнити індивідуальні потреби кожного споживача.

Ці підходи інтенсивно використовуються у країнах Західної Європи, США, Японії (Гоцуля, Самко & Галиця, 2011; Кузьминський, 2004; Пилат & Иванов, 2002). У продукції харчової та фармацевтичної індустрії значну частку посідають:

- нутрицевтики, що вживаються для корегування хімічного складу їжі, доведення вмісту природних макро- і мікронутрієнтів до рівня фізіологічних потреб людини;

- парафармацевтики, що вживаються для профілактики, допоміжної терапії та підтримання у фізіологічних межах функціональної активності органів і систем;
- еубіотики, які регулюють рівновагу кишкової мікрофлори (Новиков, 2009; Черно & Капустян, 2015) і, залежно від складу діючих компонентів, поділяються на пребіотики, пробіотики та синбіотики (Vyas & Ranganathan, 2012).

Нині перед харчовою промисловістю відкриваються широкі перспективи з виробництва дієтичних добавок. Юридичний статус цієї складової здорового харчування регулюється новим Законом України 771/97-ВР «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів», редакція від 16.01.2020 (Закон України №771/97), у якому вперше дано визначення дієтичної добавки як харчового продукту, що споживається у невеликих кількостях додатково до звичайного раціону, і який є концентрованим джерелом поживних речовин — білків, жирів, вуглеводів, вітамінів, мінеральних елементів. Оскільки дієтичні добавки тривалий час є об'єктом уваги фармацевтичної промисловості, то й у харчових технологіях їх доцільно виготовляти у вигляді традиційних лікарських форм — таблеток, капсул, драже, порошків, екстрактів тощо.

Полегшує етап переходу підприємств харчової промисловості на виробництво дієтичних добавок і той факт, що Законом України № 1602-VII від 20 вересня 2015 року скасовано державну реєстрацію спеціальних харчових продуктів (Закон України № 1602-VII). Актуалізацію технічних умов і технологічних інструкцій дозволено здійснювати безпосередньо операторам ринку, які виробляють дієтичні добавки. Функції нагляду за виробництвом і обігом дієтичних добавок покладено на Держпродспоживслужбу та її територіальні органи.

Виробництво дієтичних добавок регулюється також наказом МОЗ України від 19.12.2013 № 1114 «Про затвердження Гігієнічних вимог до дієтичних добавок» (Наказ МОЗ України № 1114), у якому наведено вимоги до дієтичних добавок, їх маркування, переліки вітамінів і мінералів та їхніх форм, дозволених до використання у виробництві дієтичних добавок. Ще один нормативний акт, на який необхідно спиратись при виробництві дієтичних добавок, — наказ МОЗ України № 1073 від 03.10.2017 «Норми фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії» (Наказ МОЗ України № 1073).

Мета статті: на основі аналізу законодавчої бази виробництва дієтичних добавок обґрунтувати вибір сировини та спосіб отримання високовітамінної дієтичної добавки імунокорегувальної дії у порошкоподібній формі.

Викладення основних результатів дослідження. Дієтичні добавки поступово стають істотним складником здорового харчування, яке є сучасним світовим трендом. І все це створює економічні та соціальні передумови розвитку їх промислового виробництва. Чинне законодавство дозволяє використання міжнародних стандартів і положень Комісії Codex alimentaris для стандартизації дієтичних добавок, вимоги до яких не охоплено вітчизняними стандартами.

Оскільки дієтичні добавки ми відносимо до сфери оздоровчого, функціонального харчування, то сировиною для їх отримання мають бути лише природні матеріали, які є джерелом практично всіх необхідних людині біологічно активних речовин (Сімахіна & Науменко, 2017; Kuwata, 2006).

На жаль, у наказі МОЗ України № 1114 в переліку інгредієнтів, рекомендованих до використання у виробництві дієтичних добавок, відсутні такі загально-

вживанні нутрицевтики, як харчові волокна, поліненасичені жирні кислоти, пептиди, пре- і пробіотики, які складають основу багатьох функціональних продуктів. Тому ці інгредієнти не лише доцільно, а й необхідно використовувати в рецептурах дієтичних добавок.

Середньостатистичний вітчизняний споживач у більшості випадків мало обізнаний з можливими фізіологічними ефектами компонентів дієтичних добавок, тому досить привабливим є підхід деяких зарубіжних країн (Shahidi, Neeser & German, 2004; ГОСТ Р 54059-2010; Петрова, 1986) до класифікації функціональних харчових продуктів (який можна повністю перенести на дієтичні добавки) за напрямом фізіологічних ефектів: наприклад, ефект метаболізму субстратів, антиоксидантний ефект, ефект підтримання діяльності серцево-судинної та імунної систем тощо. Зазначення на упаковці конкретного фізіологічного ефекту компонентів дієтичної добавки дасть змогу споживачам отримати об'єктивну інформацію про оздоровчі властивості добавок, здійснити їх свідомий вибір і скомпонувати індивідуальний раціон харчування.

Зрозуміло, що для досягнення кожного із зазначених фізіологічних ефектів необхідно передусім здійснити науково обґрунтований вибір сировини для отримання дієтичних добавок певного функціонального спрямування. І тут відкривається надзвичайно широкий простір для творчості, адже багатий рослинний світ на території України надає можливість обрати найефективніші культури для виробництва добавок цільового призначення: оздоровчих, дієтичних, лікувальних, профілактичних, для спеціальних медичних цілей, а також як новітніх харчових продуктів або інгредієнтів, які, відповідно до Закону України № 771/97ВР, суттєво відрізняються від звичайних харчових продуктів і мають бути оцінені з точки зору їхнього безпосереднього впливу на здоров'я споживачів.

Особливо привабливою сировиною для виробництва дієтичних добавок, наприклад, із підвищеним вмістом вітамінів-антиоксидантів, є плодово-ягідні культури, у яких динамічну сукупність корисних сполук запрограмовано самою природою. Причому смакові властивості плодів і ягід визначають, в основному, склад та кількісні співвідношення цукрів і органічних кислот, а харчову, біологічну, дієтичну та лікувальну цінність — вміст есенціальних біологічно активних речовин, передусім аскорбінової кислоти, каротиноїдів, поліфенольних сполук тощо (Шестопад, 2011; Сімахіна & Камінська, 2019; Українець, Сімахіна, Науменко & Камінська, 2019).

Для вибору відповідної сировини ми скористались розробленими критеріями (Сімахіна, 2021), які надають можливість об'єктивно і з невеликими витратами часу оцінити конкретний вид сировини на придатність для виробництва дієтичної добавки із заздалегідь прогнозованими фізіологічними ефектами. На основі розроблених критеріїв як предмет дослідження обрано різні сорти ягід чорної смородини.

На сьогодні відомо понад 50 сортів чорної смородини, що культивується і вирощується в Україні. Для проведення досліджень обрали сорти смородини, що, за літературними даними, відзначаються найбільшим вмістом аскорбінової кислоти. Це такі сорти: «Неаполітанська», «Єдина», «Находка», «Лія плодюча», «Чемпіон Примор'я», «Солодкоплідна», «Голубка», «Велетень», «Каскад».

У вибраних сортах смородини визначали вміст основних показників і отримані дані систематизували в табл. 1.

Таблиця 1. Біохімічний склад свіжих ягід смородини різних сортів

Сорт	Вміст сухих речовин, %	Загальна кількість цукрів, %	Вміст інвертного цукру, %	Вміст вітаміну С, мг/100 г	Кислотність, %
Неаполітанська	14,2±0,03	6,1±0,04	5,2±0,04	220±0,09	3,32±0,06
Єдина	12±0,08	6,0±0,03	5,1±0,06	215±0,08	3,58±0,09
Находка	11,4±0,02	4,8±0,06	4,6±0,07	198±0,3	3,36±0,001
Лія плодюча	14±0,07	5,4±0,02	4,8±0,05	284±0,1	3,78±0,05
Чемпіон Примор'я	9±0,05	4,5±0,07	4,0±0,03	245±0,02	3,70±0,02

З даних табл. 1 видно, що ягоди смородини вирізняються багатим хімічним складом. Загальна кількість цукрів коливається від 4,5 до 6,1 за масою ягід. Цінним є те, що понад 90% загального вмісту цукрів складає інвертний цукор, причому переважає фруктоза, а глюкози значно менше.

Вміст вітаміну С коливається від 198 до 284 мг %, хоча в літературі зустрічаються дані, за якими вміст аскорбінової кислоти досягає 1000...1500 мг %. Водночас слід зазначити, що для будь-яких сортів смородини максимальну кількість вітаміну С містять незрілі ягоди. В міру їхнього досягання С-вітамінна активність знижується і різко падає для перестиглих ягід.

Тому для отримання дієтичних добавок та поліфункціональних збагачувачів із підвищеним вмістом аскорбінової кислоти доцільно як її природне джерело обирати недозрілі ягоди. Багатим на аскорбінову кислоту є лист смородини, зібраний після цвітіння (до 500 мг %), тому його теж можна використовувати для отримання С-вітамінних добавок.

Кислотність ягід смородини коливається від 3,32 до 3,78% (за органічними кислотами). В основному це лимонна, яблучна, щавлева, кавава кислоти.

Відомо, що в нинішніх несприятливих екологічних умовах велике значення надається таким компонентам харчових продуктів, які підвищують адаптаційні можливості організму людини (Сімахіна & Науменко, 2021). Вибрані сорти мають вирізнятись передусім високим вмістом сполук-адаптогенів, тобто вітамінів С, біофлавоноїдів, органічних кислот та інших БАР. Вони повинні бути придатними до тривалого зберігання, мати інтенсивне забарвлення, виражені смако-ароматичні характеристики. За цими показниками ми оцінили додатково інші сорти ягід смородини. У свіжому вигляді вони відзначаються високими смаковими якостями і мають дегустаційну оцінку від 4,7 до 4,9.

За органолептичними характеристиками і високим співвідношенням аскорбінової кислоти та біофлавоноїдів до таких сортів ягід смородини слід віднести такі: Солодкоплідна, Голубка, Велетень, Каскад (табл. 2).

Таблиця 2. Вітамінний склад ягід смородини різних сортів

Сорт	Вміст аскорбінової кислоти, мг/100 г	Вміст біофлавоноїдів, мг/100 г	Вміст органічних кислот, %
Солодкоплідна	285±0,04	2346±0,2	3,8±0,006
Голубка	224±0,06	1994±0,04	4,2±0,004
Велетень	315±0,03	3234±0,1	4,6±0,003
Каскад	162±0,04	1744±0,3	3,6±0,002

Аналіз табличних даних свідчить про те, що за складом БАР перші три сорти ягід смородини є ефективним джерелом і аскорбінової кислоти, і біофлавоноїдів, і органічних кислот, тобто вони цілком придатні для виробництва дієтичних добавок. Для отримання порошкоподібних дієтичних добавок із ягід чорної смородини використали низькотемпературний спосіб сушіння, розроблений на кафедрі технології оздоровчих продуктів НУХТ відповідно до наведеної принципової технологічної схеми (рис.)



Рис. Низькотемпературне сушіння ягід чорної смородини

Для вибору оптимального значення температурного режиму, при якому втрати БАР будуть найменшими, дослідження проводили при температурах 35, 45 та 55°C, у сушарці EZIDRI. Для того, щоб висушені ягоди не провалювалися крізь ґратки, сушіння проводили на піддонах із перфорацією малих розмірів, а з метою інтенсифікації процесу сирі ягоди розкладали тонким шаром.

Аналізуючи співвідношення зміни вмісту води в ягодах і тривалості сушіння при постійній температурі, виявили цікавий факт. У період постійної швидкості сушіння видалення вологи незначно залежить від температури процесу — протягом 180 хв залишкова вологість становить 58% при 35°C, 46% — при 45°C, 44% — при 55°C. У період спадаючої швидкості (через 210 хв після початку процесу) ефект видалення вологи уже істотно залежить від температури: через 260 хв сушіння при 55°C уже практично видалено всю вільну вологу і досягнуто 10% вологості, тоді як при температурі 35°C залишкова вологість становить 48%

і лише через 480 хв вона досягає рівня 10%. З точки зору інтенсифікації процесу доцільнішою є температура 55°C, однак додаткові дослідження показали, що менші втрати БАР досягаються при температурі 45°C, яку й було обрано оптимальною.

Оскільки сухі порошкоподібні продукти повинні мати залишкову вологість не вищу ніж 12% (з метою їх тривалого зберігання), ми визначили експериментальним шляхом залежність величини залишкової вологості від температури і тривалості сушіння. Отримані дані наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Залежність величини залишкової вологості ягід від температури і тривалості сушіння

Тривалість сушіння, хв	Температура, °C			
	20	35	45	55
140	40±0,36	38±0,92	36±0,74	28±0,39
160	38±0,19	36±0,15	32±0,45	24±0,61
200	30±0,62	27±0,48	20±0,33	14±0,50
240	25±0,48	22±0,55	15±0,58	10±0,17
320	21±0,68	14±0,22	10±0,17	9,5±0,26
480	18±0,17	10±0,45	9,6±0,51	9,2±0,38
680	10±0,46	9,4±0,18	9,1±0,22	8,4±0,51

Тобто при температурі сушіння 45°C необхідна залишкова вологість 10—12% досягається протягом 320 хвилин.

В отриманих дістичних добавках (поліфункціональних збагачувачах) визначили вміст основних біокомпонентів у зіставленні зі свіжими ягодами (табл. 4 і 5).

Таблиця 4. Вміст основних вітамінів у дістичній добавці, мг/100 г

Показники	Свіжі ягоди	Дістична добавка
Вітамін С	238,5±,01	482±0,05
Поліфенольні сполуки	2445±0,05	4384±0,8
Каротиноїди	13,4±0,01	67±0,04

Таблиця 5. Вміст мінеральних елементів у дістичній добавці

Показники	Вміст	Добова потреба
Калій, мг	1230	2,0...4,0 г
Кальцій, мг	28670	0,8...1,2 г
Магній, мг	476	0,3...0,4 г
Фосфор, мг	412	1,0...1,2 г
Хлорид, мг	324	4,5...5,0 г
Натрій, мг	366	3,5...4,0 г
Залізо, мг	180	10,0...18,0 мг
Мідь, мг	760	2,0...3,0 мг

З наведених даних видно, що, порівняно зі свіжою сировиною, вміст біологічно активних речовин у готовому продукті за рахунок концентрування у процесі сушіння перевищує аналогічні показники у декілька разів, що свідчить про його високу харчову та біологічну цінність.

Висновки

Позитивне, здорове харчування, яке містить у необхідних кількостях і оптимальному співвідношенні всі нутрієнти, є практично єдиним способом нормалізувати діяльність організму, знизити ризик різноманітних захворювань, забезпечити відчуття гармонії між людиною та природою. На сьогодні з'ясовано механізм дії багатьох біологічно активних речовин харчових продуктів на функціональну активність органів та систем організму людини. Тому виробництво та застосування дієтичних добавок, що містять у концентрованому вигляді всі БАР, набирає особливої актуальності в Україні і стає предметом досліджень науковців та практиків.

Саме завдяки таким дослідженням з'ясовуються позитивні ефекти тих БАР, яким раніше не приділяли уваги; маловивченим сполукам, які не належать до категорії незамінних, однак відіграють надзвичайно важливу роль у підтриманні здоров'я, і саме на прикладі таких сполук стає зрозумілою відносність понять «замінний» та «незамінний».

Дієтичні добавки виробляють із рослинної, тваринної, мінеральної сировини. Важливим є пошук і введення до сфери харчових технологій нових джерел, у тому числі нетрадиційних. І в цьому сенсі велику роль відіграють лікарські рослини, дикорослі та культивовані, зважаючи на багатий біохімічний склад, їхню здатність швидко включатись до метаболічних процесів в організмі людини, практично невичерпні ресурси.

Дієтичні добавки повинні відзначатись високою якістю, ефективністю і повною безпекою для споживачів. Тому при їх розробленні необхідно орієнтуватись на медичні рекомендації щодо рівнів споживання для певних категорій населення. Саме за таких умов дієтичні добавки знайдуть своє належне місце у системі здорового харчування.

Література

ГОСТ Р 54059-2010. *Продукты пищевые функциональные. Ингредиенты пищевые функциональные. Классификация и общие требования*. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200085998> (дата звернення 06.01.2022).

Гоцуля, Т. С., Самко, А. В., Галиця, В. В. (2011). Дієтичні добавки у фармації. *Запорожский медицинский журнал*, 13(2), 33—37.

Закон України № 1602-VII «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо харчових продуктів». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1602-18#Text> (дата звернення 06.01.2022).

Закон України № 771/97-ВР «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771/97-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення 06.01.2022).

Кузьминський, С. М. (2004). Про систематизацію біологічно активних добавок для потреб санітарно-епідеміологічної експертизи. *Проблеми харчування*, 2, 71—82.

Наказ МОЗ України № 1073 від 03.10.2017 року «Норми фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1206-17#Text> (дата звернення 08.01.2022).

Наказ МОЗ України № 1114 «Про затвердження Гігієнічних вимог до дієтичних добавок». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z2231-13#Text> (дата звернення 08.01.2022).

Новиков, В. Е. (2009). Фармакологическая регуляция микробиоценоза кишечника. *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*, 7(2), 51—57.

- Петрова, В. П. (1986). *Биохимия дикорастущих плодово-ягодных растений*: монографія. Киев: Вища школа.
- Петровський, М. О., Лебединець, В. О. (2019). Аналіз та визначення перспектив розвитку аптечного ринку дієтичних добавок в Україні. *Social Pharmacy in Health Care*, 5(4), 49—57.
- Пилат, Т. П., & Иванов, А. А. (2002). *Биологически активные добавки к пище*. Москва: Авваллон.
- Симахіна, Г. А. (2004). Социальные и экономические предпосылки создания в Украине индустрии здорового питания. *Продукты и ингредиенты*, 3, 26—29.
- Сімахіна, Г. О. (2021). Критерії придатності плодово-ягідної сировини до заморожування і їх практична реалізація. *Наукові праці НУХТ*, 27(3), 190—201.
- Сімахіна, Г. О., Камінська, С. В. (2019). Нові підходи до характеристики і оцінювання основних органолептичних показників плодів і ягід. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки*, 30(1), 72—78.
- Сімахіна, Г. О., Науменко, Н. В. (2016). Харчування як основний чинник збереження стану здоров'я населення. *Проблемы старения и долголетия*, 25(2), 204—214.
- Сімахіна, Г. О., Науменко, Н. В. (2017). Дієтичні добавки: сучасні підходи до створення та місце у системі здорового харчування. *Харчова промисловість*, 22, 23—29.
- Сімахіна, Г. О., Науменко, Н. В. (2021). Ягідні культури як концентратори ефективних антиоксидантів. *Наукові праці НУХТ*, 27(6), 123—133.
- Украинский аптечный рынок диетических добавок в 2019*. URL: <https://thepharma.media/analytic/analysis/22736-ukrainskij-aptechnyj-rynok-dieticheskikh-dobavok-v-2019-godu> (дата звернення 03.01.2022).
- Українець, А. І., Сімахіна, Г. О., Науменко, Н. В., & Камінська, С. В. (2019). *Заморожені плодово-ягідні напівфабрикати: якість, ефективність, безпека*: монографія. Київ: Видавництво «Сталь».
- Черно, Н. К., Капустян, А. І. (2015). Перспективи використання біологічно активних бактеріальних гідролізатів для нутритивної підтримки населення з розладами імунної системи. *Харчова наука і технологія*, 2, 18—25.
- Шестопал, Г. С. (2011). Антиоксидантна активність біологічно активних речовин плодів ягідних культур. *Вісник Львівської комерційної академії. Серія товаровознава*, 12, 127—131.
- Kuwata, T. (2006). Functional foods: comparison of current state in Japan and other countries. *Science and Technology in Japan*, 25, 21—23.
- Shahidi, F., Neeser, J. R., German J. B. (eds.) *Bioprocess and Biotechnology for Functional Foods and Nutraceuticals*. New York — Basel: Marcel Dekker, 2004.
- Vyas, U., Ranganathan, N. (2012). Probiotics, prebiotics, and synbiotics: Gut and beyond. *Gastroenterology. Res. Pract.*, 2012, 25—33.

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF RAW MATERIALS FROM BERRY PLANTS

A. Demydova

National Technical University “Kharkiv Polytechnical Institute”

T. Nosenko

National University of Food Technologies

Key words:

*Oxidation
Antioxidants
Blackberries
Viburnum
Blueberries
Raspberries
Black currants*

Article history:

Received 20.01.2022

Received in revised form
03.02.2022

Accepted 17.02.2022

Corresponding author:

T. Nosenko

E-mail:

tamara_nosenko@ukr.net

ABSTRACT

The antioxidant activity of different parts of plants was studied and compared to the antioxidant activity of the synthetic antioxidant butylhydroxyanisole (BHA). Concentrates of plant antioxidants were obtained by water-alcohol (70% ethyl alcohol) extraction of plant raw materials, the solvent was removed under mild conditions. The obtained concentrates of biologically active compounds were added to sunflower oil to determine their effect on the inhibition of oil oxidation. Antioxidant activity of the obtained concentrated extracts decreased in such direction: blackberry bark > viburnum bark > blackberry leaves > blackberry shoots > blueberry shoots > blueberry leaves > raspberry bark > blackberry fruit > black currant bark > raspberry leaves > viburnum leaves > blueberry fruit > black currant leaves > viburnum fruits > raspberry fruits > black currant fruit. Almost all of the obtained antioxidants, except raspberries and black currants, showed higher antioxidant activity than butylhydroxyanisole. The bark and leaves of berry plants had higher antioxidant properties compared to berries. The total antioxidant activity of the studied raw materials decreased as follows: blackberries > viburnum > blueberries > raspberries > black currants.

The influence of the obtained extracts on the kinetics of sunflower oil oxidation by the accumulation of peroxides was also studied. The addition of plant extracts to sunflower oil increased its resistance to oxidation compared to control sample. Natural antioxidants were significantly more effective than butylhydroxyanisole. At the end of the oxidation (after 15 hours) the peroxide content in the oil containing BHA was 27% lower than in the control sample, in the oil containing biologically active substances of blackcurrant leaves — 44%, and in the oil containing biologically active substances of blackberry leaves — 68%. Thus, the studied plant materials are valuable source of biologically active substances, the antioxidant activity of which exceeds the effectiveness of the synthetic antioxidant butylhydroxyanisole.

ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИОКСИДАНТНОЇ АКТИВНОСТІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ІЗ ЯГІДНИХ КУЛЬТУР

А. О. Демидова

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Т. Т. Носенко

Національний університет харчових технологій

У статті досліджувалась антиоксидантна активність різних частин рослинної сировини із ягідних культур та порівнювалась із антиоксидантною активністю синтетичного антиоксиданту бутилгідроксианізола (ВНА). Концентрати рослинних антиоксидантів одержували водно-спиртовою (70% етилового спирту) екстракцією рослинної сировини, екстрагент видаляли в м'яких умовах. Одержані концентрати біологічно активних сполук додавали до соняшникової олії для визначення впливу на гальмування окиснення олії. Антиоксидантна активність одержаних концентрованих екстрактів зменшувалась у напрямку: кора ожини > кора калини > листя ожини > пагони ожини > пагони чорниці > листя чорниці > кора малини > плоди ожини > кора чорної смородини > листя малини > листя калини > плоди чорниці > листя чорної смородини > плоди калини > плоди малини > плоди чорної смородини. Практично всі одержані антиоксиданти, окрім плодів малини і чорної смородини, виявили вищу антиоксидантну активність, ніж бутилгідроксианізол. Кора і листя ягідних рослин мали більш високі антиоксидантні властивості порівняно з ягодами. Сумарно антиоксидантна активність дослідженої сировини зменшувалась таким чином: ожина > калина > чорниця > малина > чорна смородина.

Досліджено також вплив одержаних екстрактів на кінетику окиснення соняшникової олії за накопиченням пероксидів. Додавання рослинних екстрактів до соняшникової олії підвищувало її стійкість до окиснення порівняно з контролем. Натуральні антиоксиданти були помітно більш ефективні за бутилгідроксианізол. Наприкінці окиснення (15 год) вміст пероксидів в олії, що містила ВНА, був на 27% меншим, ніж у контролі, в олії, що містила біологічно активні речовини листя чорної смородини, — на 44%, а в олії, що містила біологічно активні речовини листя ожини, — на 68%. Досліджена рослинна сировина є цінним джерелом біологічно активних речовин, антиоксидантна активність яких переважає ефективність синтетичного антиоксиданту бутилгідроксианізола.

Ключові слова: окиснення, антиоксиданти, ожина, калина, чорниця, малина, чорна смородина.

Постановка проблеми. Жири є незамінними компонентами харчування. Вони не тільки забезпечують енергетичні потреби організму, але є донорами жирних кислот, які контролюють низку фізіологічних процесів. Окиснення — одна з найголовніших причин погіршення якості жирів, що призводить до втрати харчової цінності, появи неприємних смаків, запахів і, найголовніше, утворення

токсичних продуктів окиснення — на перших етапах гідропероксидів, потім альдегідів, кетонів, оксикислот тощо. Для гальмування процесу окиснення в харчовій промисловості широко застосовуються антиоксиданти. Додавання синтетичних антиоксидантів, таких як бутилгідроксианізол (БНА), бутилгідрокситолуол (БНТ), третбутилгідрохінон (ТБНҚ), ефективно пригнічує окиснення жирів. Проте використання синтетичних антиоксидантів було обмежено через їх негативний вплив на здоров'я людини й токсичність (Sharma та ін., 2019). Використання натуральних антиоксидантів сьогодні є загальносвітовою тенденцією в харчовій промисловості.

Біологічно активні компоненти харчових продуктів, зазвичай, мають рослинне походження. Переважна більшість цих біологічно активних компонентів має відновні властивості і тому визначається як антиоксиданти (Carlsen та ін., 2010). Антиоксиданти (АО) — це речовини, молекули яких здатні взаємодіяти з вільними радикалами і таким чином гальмувати процес окиснення жирів. Антиоксидантна активність (АОА) — це ефективність гальмування швидкості окиснення жирів, що визначається сукупністю реакцій інгібітора (Перевозкина, 2014).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інтерес до вилучення біоактивних сполук з рослинної біомаси, особливо поліфенолів, останнім часом зріс, особливо це стосується доступної та дешевої рослинної сировини (Lazar, Talmaciu, Volf & Pora, 2016) або тих органів культурних рослин, що не використовуються харчовою промисловістю. Одним із перспективних джерел АО є листя, кора, коріння тощо ягідних культур.

Серед таких культур цінною є *Viburnum opulus L. (Adoxaceae)* — європейська калина, поширена в Європі, Північній і Центральній Азії, Північній Африці (Ersoy, Ercisli & Gundogdu, 2017). Калина є цінною декоративною, лікарською та плодовою рослиною. В Україні та в інших народів використовується в традиційній кухні, незважаючи на її терпко-гірко-кислий смак (Polka, Podsędek & Koziołkiewicz, 2019). Плоди калини використовуються для лікування низки захворювань, у тому числі кровотечі, захворювання серця, високого кров'яного тиску, кашлю і застуди, неврозів і цукрового діабету (Polka, Podsędek & Koziołkiewicz, 2019). Дослідження *in vitro* виявили антиоксидантні властивості різних органів калини, у тому числі листя та кори (Saltan та ін., 2016). В табл. 1 наведено вміст окремих фенольних сполук у різних органах калини.

Важливим джерелом біологічно активних речовин є малина (*Rubus ideaus*), визнана споживачами смачною і корисною ягодою. Останні дослідження вказують на те, що листя малини містить велику кількість поліфенолів і може служити потенційним джерелом природних антиоксидантів для медицини та для промислового виробництва таких речовин, як фенольні кислоти (хлорогенова, галова, ферулова, кофеїнова), а також флавоноїдів, включаючи кверцетин і кемпферол-3-О-глюкозиден. У зв'язку з вираженою біологічною дією *in vitro* на особливу увагу заслуговують елагова та саліцилова кислоти (Ponder & Hallmann, 2019). Встановлено, що дія цих кислот пов'язана із профілактикою серцево-судинних захворювань. Крім того, саліцилова кислота (основний компонент аспірину), що синтезується рослинами для захисту від хвороб і шкідників, здатна впливати на профілактику респіраторних захворювань людини (традиційне застосування малини).

Ягоди ожини, як і малини, містять компоненти, що сприяють зміцненню здоров'я завдяки протипухлинній, антиатеросклеротичній, протизапальній, протидіабетичній та протиалергічній дії, важливі для профілактики надмірної маси тіла (Krzepiło, Prażak & Świącilo, 2021). У народній медицині листя і молоді пагони ожини використовували для зняття болю і лікування геморою, як протидіарейний і протизапальний вплив при інфекційних захворюваннях слизової оболонки ротової порожнини та глотки (Krzepiło, Prażak & Świącilo, 2021).

Цінною дикорослою ягідною культурою є чорниця (*Vaccinium myrtillus L.*). Ягоди чорниці відносяться до продуктів функціонального харчування, також сьогодні відомі як «суперпродукти», що мають позитивний вплив на здоров'я людини, пов'язаний з високим вмістом антоціанів і флавоноїдів (Neamtu та ін., 2020). Високий вміст антиоксидантів у ягодах чорниці допомагає в боротьбі з хворобами, пов'язаними з підвищеним окиснювальним стресом: раком, цукровим діабетом, серцево-судинними захворюваннями та віковими змінами (Tadić та ін., 2021). Листя чорниці також є багатим джерелом фенольних сполук — флавоноїдів, фенольних кислот, дубильних речовин (табл. 1). Вміст цих сполук у листі чорниці суттєво вищий порівняно з плодами. Отже, листя може мати підвищені антиоксидантні властивості (Bujor, Tanase & Pora, 2019).

Важливим джерелом вітамінів та інших біологічно активних речовин є смородина чорна (*Ribes nigrum L.* (Grossulariceae)). Плоди чорної смородини чинять антиоксидантну, протизапальну, антигемостатичну дію (Piotrowski та ін., 2016). Листя і бруньки чорної смородини можуть представляти навіть більший інтерес як джерело біоактивних сполук, ніж плоди (D'Urso, Montoro, Piacente, 2019). Листя чорної смородини багате флавонолами, такими як рутин, гіперозид і ізокверцитрин (табл. 1). Ці сполуки знижують ризик серцевих захворювань і проявляють біологічну активність проти запалення, окиснення, раку, вірусів і бактерій (Ferlemi & Lamari, 2016).

Органи молодих рослин, зазвичай, мають вищий вміст різноманітних біологічно активних сполук, ніж старі (Donnpotha та ін., 2016). Так, листові бруньки ягідних кущів, як молоді органи, можуть характеризуватися високою антиоксидантною активністю. Тому дослідження антиоксидантної ефективності екстрактів із пагонів рослин є доцільним.

Таблиця 1. Вміст фенольних сполук у тканинах ягідних культур, мг/100 г

Компонент	Калина (Polka, Podsędek & Koziołkiewicz, 2019)			Чорна смородина (метанольний екстракт) (D'Urso, Montoro & Piacente, 2019)		Чорниця, листя (Okatan, 2020)	Ожина, ягоди (Okatan, 2020)
	квіти	кора	ягоди	ягоди	листя		
1	2	3	4	5	6	7	8
Проціанідин	25,46	437,79	14,02	—	—	—	—
(+)-катехін	46,87	1062,43	—	11,37	2,73	—	327,9
Проціанідин В2	—	116,47	—	—	—	1,29	—
(-)-епікатехін	—	95,87	—	—	—	7,53	—
Загальна кількість флаванолів	72,33	1712,55	14,02	—	—	—	—

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Неохлорогенова кислота	17,22	41,51	7,22	—	—	0,34	—
хлорогенова кислота	1535,42	352,49	752,59	56,77	3,4	45,51	22,57
Хінна кислота	—	—	—	—	206,9	0,80	—
Криптохлорогенова кислота	6,78	18,44	3,51	—	—	—	—
p-кумарова кислота	—	14,17	—	—	—	1,26	—
Елагова кислота	—	—	—	5,76	—	—	37,43
Фумарова кислота	—	—	—	8,98	—	—	33,53
кумаройлхінна кислота	—	—	—	—	152,5	—	—
Загальні кількості гідроксикислот	1559,42	426,61	763,32	—	—	—	—
Рутин	10,05	—	5,39	—	7,4	4,73	—
Кверцетин	—	—	—	2,47	—	2,11	8,46
Ізорамнетин	58,84	—	0,71	—	—	—	—
Мірицетин	—	—	—	—	3,4	—	—
Ізорамнетин 3-О-глюкозид	47,06	—	—	—	—	—	—
Ізокверцетин	—	—	—	—	—	14,62	—
Кверцетин 3-О-глюкозид	19,18	—	—	—	24,3	—	—
Загальна кількість флавонолів	135,13	—	7,70	—	—	—	—
Сума фенольних сполук	1766,88	2139,16	784,94	—	—	—	—

За результатами досліджень рівень АО і навіть їх склад у рослинній сировині одного виду помітно відрізняється. Це пояснюється кліматичними умовами вирощування, різним періодом збору врожаю, генетичними відмінностями тощо (Okatan, 2020).

Проте на сьогодні порівняльні дослідження антиоксидантної активності (АОА) різних ягідних культур і їх тканин щодо гальмування швидкості окиснення ліпідів відсутні. Необхідно встановити, які саме органи цих рослин можна рекомендувати для одержання ефективних АО.

Значна частка рослинної сировини ягідних культур (листя, кора, бруньки, пагони тощо) залишається невикористаною і є сільськогосподарськими відходами (Polka, Podsedek & Koziołkiewicz, 2019). Використання їх як джерела одержання АО підвищить дохідність вирощування ягідних культур і дасть змогу розширити асортимент біологічно активних препаратів.

Мета дослідження: встановлення антиоксидантної активності різних органів ягідних культур щодо гальмування окиснення соняшникової олії.

Матеріали і методи. Для досліджень кінетики ініційованого окиснення використовували попередньо очищений послідовною перекристалізацією з безводного етанолу/ацетону/бензолу 2,2'-азо-біс-ізо-бутиронітрил (АІБН).

Як модель окиснення використовували рафіновану дезодоровану соняшникову олію (ТМ «Олейна») об'ємом 1 дм³. Плашку відкривали перед початком дослідження і зберігали за температури –5°C без доступу світла не більше 4 тижнів.

Листя та кора малини, калини, чорниці, чорної смородини, ожини було зібране на території Харківської області. Ягоди (плоди калини, малини, ожини, чорниці, чорної смородини) придбані в місцевих магазинах, пагони чорниці — в аптеці.

Рослинну сировину було подрібнено на висушено за температури 40°C у ви-тяжній сушильній шафі до вмісту води ≤1%. Рослинну сировину подрібнювали за допомогою лабораторного млина (марка RRH-100, Україна), кількість обертів за хвилину — 28000, потужність — 700 W. Зразки просіювали через лабораторне сито з отворами 1 мм. Зразки зберігали за температури –5°C і використовували в дослідженні протягом чотирьох тижнів. Перед початком екстрагування рослинну сировину розтирали у ступці протягом 20 с.

Для одержання екстрактів підготовлену сировину замочували в суміші етиловий спирт-вода (співвідношення 70:30, відповідно) в скляній колбі, тривалість замочування — 1 година. Потім підігрівали до 60°C на магнітній мішалці (RIVA-04.4, RIVA-STAL, Україна) та проводили екстракцію протягом 4 год у колбі з приєднаним повітряним зворотним холодильником при постійному перемішуванні та гідромодулі 1:5 (мас./об.). Контроль температури здійснювали термopарою. Одержані екстракти відфільтровували від залишків рослинної сировини (Whatman № 42). Потім фільтрати концентрували шляхом нагрівання в ротормному випарнику за температури 40°C. Одержані концентрати зберігались за температури –5°C у закритих скляних бюксах без доступу світла не більше 4 тижнів і використовувались в дослідженні кінетики окиснення.

Антиоксидантну активність (АОА) екстрактів вивчали волюметричним методом в присутності інертного розчинника октану в манометричній установці шляхом окиснення соняшникової олії. Манометрична установка надає можливість вимірювати поглинання зразком незначних кількостей кисню. Установка складається з реакційної комірки об'ємом 5 см³, що термостатується, манометра, системи сполучних скляних трубок і кранів, які приєднані до джерела чистого (99,9%) кисню та вакуумного насоса, а також термостата. Перед початком роботи установку підключали до вакуум-насоса для вилучення повітряної суміші із системи скляних труб і до джерела чистого кисню (двоходовий кран) для наповнення установки чистим киснем. Такі послідовні операції проводили 5—8 разів. Об'єм поглиненого зразком кисню в мм³ за визначений час вимірювали за зміною висоти стовпчика зафарбованої рідини, сполучений із зразком олії. Одержані дані кінетики окиснення зразків у мм³/хв перераховували в моль/с, а об'єм кисню в моль/дм³ ($V(O_2)$) розраховували за формулою:

$$V(O_2) = \frac{\Delta V \cdot 10^{-6} \cdot 10^3}{22,4 \cdot V_{\text{олії}}}, \quad (1)$$

де ΔV — об'єм поглиненого зразком кисню, мм³; 10^{-6} — коефіцієнт перерахунку об'єму кисню в дм³; 22,4 — об'єм 1 моля газу; $10^3/V_{\text{олії}}$ — коефіцієнт перерахунку об'єму поглиненого кисню на 1 дм³ олії.

Дослідження проводили в умовах ініційованого окиснення за рахунок термічного розкладання розчину АІБН (2,2'-азо-біс-ізо-бутиронітрилу) у о-ксилолі. Вимірювання проводили за температури 70°C ($\pm 0,1^\circ\text{C}$) та концентрації АІБН $2 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³ для всіх зразків.

Графічним методом (Перевозкина, 2014) визначали значення періоду індукції окиснення (τ_i) як відрізок осі абсцис, що відсікається перпендикуляром з точки перетину дотичних до кінетичної кривої окиснення.

Дослідження кінетики окиснення соняшникової олії в присутності антиоксидантів проводили при концентрації бутилгідроксианізола або одержаного концентрату рослин 0,2 г/кг олії.

Ефективність гальмування процесу окиснення соняшникової олії визначали сукупністю реакцій інгібітора і позначали як антиоксидантну активність, кількісно розраховану за формулою:

$$\text{АОА} = \frac{\tau_i}{\tau_s}, \quad (2)$$

де τ_i і τ_s — періоди індукції окиснення соняшникової олії з антиоксидантом та без нього відповідно.

Пероксидне число (PV) визначали згідно з офіційним методом AOCS Cd 8-53.

Кінетика змін пероксидних чисел соняшникової олії досліджувалась шляхом окиснення соняшникової олії. Зразки олії масою 100 г з 0,2 г/кг АО (або без АО) поміщали в колбу місткістю 200 см³, яка занурювалась у водяну баню, нагріту до температури 90°C (коливання температури в межах $\pm 0,1^\circ\text{C}$). На дно колби занурювався барботер, який приєднувався до компресора (К 25, Україна). Робочий тиск компресора — $\leq 0,7$ МПа. Перемішування здійснювалось магнітною мішалкою РИВА — 04,4 (Рива Сталь, Україна) при 60 об/хв. Тривалість окиснення — 15 годин.

Кожен експеримент проводили двічі, результати виражені як середні значення. Середня квадратична похибка визначення не перевищувала 5%.

Викладення основних результатів дослідження. Незважаючи на те, що вода, яка з давніх часів використовувалась для приготування відварів, настоїв, мацерації тощо, є найбільш безпечним розчинником, водна екстракція не дає можливості повного вилучення неполярних або деяких напівполярних сполук із рослинної сировини.

Попередніми дослідженнями встановлено, що використання 70-відсоткового водного розчину етилового спирту як екстрагенту забезпечує високу ефективність екстрагування фенольних сполук (Smetanska, Helfert, 2016), такі екстракти мають максимальну антиоксидантну активність порівняно з іншими розчинниками (Robles-Ramírez та ін., 2016).

Одержані за різними методиками (гасіння радикалів DPPH[•], ABTS[•] тощо) значення АОА рослинних екстрактів не завжди відповідають ефективності їх як антиоксидантів для гальмування окиснення жирів (Mariassyova, 2006). Можлива причина цього в наявності або відсутності явища синергізму між АО однієї сировини. Зважаючи на це, було обрано визначення АОА рослинних екстрактів безпосередньо в складі жиру, зокрема соняшникової олії.

Встановлено, що період індукції окиснення соняшникової олії без додавання антиоксидантів становив (1420 ± 40) с. Період окиснення соняшникової олії в присутності синтетичного антиоксиданту бутилгідроксіанізолу (БНА, Е 320) збільшувався до (2400 ± 50) с, тобто бутилгідроксіанізол подовжує період індукції соняшникової олії в 1,7 раза. Таку антиоксидантну активність встановимо як достатню для визначення перспективності використання певного рослинного водно-спиртового екстракту як антиоксиданту.

Результати досліджень зі встановлення тривалості періоду індукції окиснення соняшникової олії в присутності рослинних екстрактів, а також розраховані значення антиоксидантної активності одержаних екстрактів наведено в табл. 2. Антиоксидантна активність екстрактів кори ожини, калини, чорниці, листя та пагони ожини і чорниці, плоди ожини, кора чорної смородини, листя малини, калини, чорної смородини, плоди чорниці та калини була вищою за активність синтетичного антиоксиданту БНА.

Загалом АОА досліджених рослинних екстрактів зменшувалась у напрямку: ожина > калина > чорниця > малина > чорна смородина. Водночас антиоксидантна активність одержаних біологічно активних сполук зменшувалась у послідовності: кора ожини > кора калини > листя ожини > пагони ожини > кора чорниці > пагони чорниці > листя чорниці > кора малини > плоди ожини > кора чорної смородини > листя малини > листя калини > плоди чорниці > листя чорної смородини > плоди калини > плоди малини > плоди чорної смородини.

Таблиця 2. Тривалість періоду індукції окиснення соняшникової олії в присутності рослинних екстрактів

Сировина	Період індукції окиснення соняшникової олії в присутності екстракту, с	Антиоксидантна активність (АОА)
Кора калини	3600 ± 70	2,53
Калина листя	2820 ± 60	1,99
Калина плоди	2460 ± 50	1,73
Малина листя	2850 ± 60	2,01
Малина кора	2850 ± 60	2,11
Малина плоди	2280 ± 50	1,61
Ожина листя	3360 ± 70	2,37
Ожина пагони	3300 ± 70	2,32
Ожина кора	3660 ± 80	2,58
Ожина плоди	2910 ± 70	2,05
Чорниця листя	3060 ± 60	2,15
Чорниця плоди	2640 ± 60	1,86
Чорниця кора	3180 ± 80	2,24
Пагони чорниці	3120 ± 80	2,20
Чорна смородина листя	2580 ± 60	1,82
Чорна смородина кора	2880 ± 60	2,03
Чорна смородина плоди	2220 ± 50	1,56
Бутилгідроксианізол	2400 ± 50	1,69

Високу антиоксидантну активність екстрактів кори ягідних культур було виявлено і в (Polka, Podsedek, Koziołkiewicz, 2019). Дослідники з'ясували, що

кора калини характеризувалась вищим за інші частини цієї рослини вмістом флавонолів, перш за все катехіну. Катехін і хлорогенова кислота — основні феноли цієї рослини. АOA кори калини, згідно з методом визначення поглинання радикалів оксигену (ORAC), становила 108 mM TE/100 g, плодів — 10,9, квітів — 61,8 mM TE/100 g.

Одержані результати підтверджують високу АOA кори калини, яка становила 2,53, що майже на 50% вище за ефективність гальмування окиснення ВНА. Екстракти із листя калини, хоч і поступаються корі за ефективністю щодо гальмування окиснення олії, проте одержане значення АOA, яке дорівнює 1,99, є вищим за цей показник для ВНА на 15%. Найнижчу АOA мали екстракти з плодів калини, проте вона все ж була на рівні антиоксидантної здатності синтетичного антиоксиданту ВНА. Отже, і плоди калини можна віднести до збагаченої антиоксидантами сировини, особливо з урахуванням того, що екстракти плодів калини можна вводити в харчові продукти в кількостях, більших у десятки разів порівняно з ВНА ($\leq 0,200$ г/кг).

Листя малини також є джерелом дубильних речовин, флавоноїдів, кверцетину, фенольних кислот, тритерпенів, мінеральних солей, а також вітаміну С, що зумовлює його високий антиоксидантний потенціал (Asnaashari, Tajik & Khodaparast, 2014). Встановлена антиоксидантна активність листя малини дорівнює 2,01, що на 16% вище за значення для ВНА. Кора малини також містить ефективні АО, її антиоксидантна активність становила 2,11, що доводить перспективність використання кори та листя малини для одержання харчових АО.

Екстракти з ягід малини подовжували період індукції окиснення соняшникової олії до 2280 с, що є близьким до тривалості періоду індукції із синтетичним антиоксидантом. Тобто і ягоди малини слід віднести до перспективного джерела АО.

Найбільш багатим джерелом природних антиоксидантів виявилась ожина. Листя ожини мало одні з найкращих антиоксидантних властивостей з усіх досліджених рослин (АОА = 2,37). Високий вміст фенольних сполук, переважно похідних кверцетину, синрингової та хлорогенової кислот в листі ожини було виявлено також і в (Kolarević та ін., 2021).

Екстракти із ягід ожини мали найвищу антиоксидантну активність серед досліджених ягід — 2,05. У (Okatan, 2020) було також продемонстровано найвищий вміст антиоксидантів у плодах ожини порівняно з антиоксидантною ефективністю ягід малини, чорної та червоної смородини. Екстракт кори ожини — найбільш ефективний серед досліджених антиоксидантів — подовжував період індукції соняшникової олії у 2,58 разів. Використання листя та кори ожини з метою вилучення АО не тільки дасть змогу розширити асортимент вітчизняних біологічно активних речовин, але й підвищить рентабельність вирощування цієї культури.

Антиоксидантна ефективність пагонів чорниці не була раніше досліджена. Вони, як і пагони ожини, не виявили більш високої АOA відносно інгібування окиснення олії порівняно з листям та корою цих ягідних культур. Проте АOA пагонів чорниці становила 2,2, що на 23% вище за антиоксидантну ефективність ВНА, пагонів ожини — 2,32 (на 27% вище). Отже, пагони чорниці та ожини — перспективний матеріал для одержання натуральних АО.

Екстракти сировини чорної смородини виявили найнижчу ефективність щодо гальмування окиснення соняшникової олії. У той же час екстракти її кори та листя мали вищу антиоксидантну ефективність порівняно із ВНА, і, відповідно, також є перспективним джерелом АО.

Високу антиоксиданту активність листя та кори більшості досліджених рослин можна пояснити можливою синергетичною взаємодією між складовими антиоксидантного комплексу цієї сировини.

Відомо, що гідрофільні антиоксиданти мають вищу біодоступність для організму людини, порівняно з гідрофобними. Тому екстракти досліджених рослин є якісною альтернативою антиоксидантам, що широко застосовуються для запобігання окисному псуванню жирів — токоферолам, каротиноїдам тощо (Sharma та ін., 2019).

Вплив одержаних АО на гальмування окиснення соняшникової олії був підтверджений також кінетикою змін пероксидного числа олії у присутності досліджених антиоксидантів (табл. 3).

Таблиця 3. Значення пероксидних чисел (ммоль 1/2О/кг) соняшникової олії в результаті окиснення за температури 90°C при додаванні різних антиоксидантів

Тривалість окиснення, год	Без АО (контроль)	ВНА, 0,2 г/кг	Листя ожини, 0,2 г/кг	Листя чорної смородини, 0,2 г/кг
0	1,06	1,06	1,06	1,06
2	2,11	2,01	1,84	1,97
5	4,35	3,78	3,09	3,37
8	8,22	5,53	3,91	4,98
10	11,93	8,08	5,53	6,85
12	17,34	12,38	7,06	10,23
15	29,33	21,3	9,24	16,41

Олія із вмістом антиоксидантів проявляла суттєво вищу стійкість до окиснення порівняно з контролем. Натуральні антиоксиданти були помітно більш ефективні за бутилгідроксианізол. Наприкінці окиснення вміст пероксидів в олії, що містила ВНА, був на 27% нижчим, ніж у контролі, в олії, що містила біологічно активні речовини листя чорної смородини, — на 44%, а в олії, що містила біологічно активні речовини листя ожини, — на 68%. Одержані дані доводять перспективність одержання АО з відходів виробництва ожини.

Висновки

За результатами досліджень ягоди калини, ожини, малини, чорної смородини, чорниці мають нижчу антиоксидантну активність порівняно з корою та листям.

Антиоксидантна активність одержаних рослинних екстрактів зменшувалась у напрямку: кора ожини (АОА = 2,58) > кора калини (2,53) > листя ожини (2,37) > пагони ожини (2,32) > кора чорниці (2,24) > пагони чорниці (2,20) > листя чорниці (2,05) > кора малини (2,11) > плоди ожини (2,05) > кора чорної смородини (2,03) > листя малини (2,01) > листя калини (1,99) > плоди чорниці (1,86) > листя чорної смородини (1,82) > плоди калини (1,61) > плоди малини (1,60) > плоди чорної смородини (1,56).

Використання листя, кори ожини, малини, чорниці з метою вилучення антиоксидантів не тільки дасть змогу розширити асортимент вітчизняних біологічно активних речовин, але й підвищить рентабельність виробництва відповідних ягід.

Література

- Перевозкина, М. Г. (2014). *Тестирование антиоксидантной активности полифункциональных соединений кинетическими методами*. Монография, Новосибирск, Изд. СибАК, 240 с.
- AOCS: Official and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society. 5th Edn. AOCS Press, Champaign, IL (USA) 1997.
- Asnaashari, M., Tajik, R., & Khodaparast, M. H. (2014). Antioxidant activity of raspberry (*Rubus fruticosus*) leaves extract and its effect on oxidative stability of sunflower oil. *Journal of Food Science and Technology*, 52(8), 5180—5187.
- Bujor, O.-C., Tanase, C., Popa, M. E. (2019). Phenolic antioxidants in aerial parts of wild *Vaccinium* species: Towards pharmaceutical and biological properties. *Antioxidants*, 8, 649.
- Carlsen, M. H., Halvorsen, B. L., Holte, K., Bohn, S. K., Dragland, S., Sampson, L., Blomhoff, R. (2010). The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. *Nutrition Journal*, 9(1).
- Donno, D., Mellano, M. G., Cerutti, A. K., Beccaro, G. L. (2016). Biomolecules and natural medicine preparations: Analysis of new sources of bioactive compounds from *Ribes* and *Rubus* spp. buds. *Pharmaceuticals*, 9(7).
- D'Urso, G., Montoro, P., & Piacente, S. (2019). Detection and comparison of phenolic compounds in different extracts of black currant leaves by Liquid Chromatography coupled with High-Resolution ESI-LTQ-Orbitrap MS and High-Sensitivity ESI-Qtrap MS. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 112926.
- Ersoy, N., Ercisli, S., Gundogdu, M. (2017) Evaluation of European cranberry bush (*Viburnum opulus* L.) genotypes for agro-morphological, biochemical and bioactive characteristics in Turkey. *Folia Hort*, 29, 181—188.
- Ferlemi, A. V., Lamari, F. N. (2016). Berry Leaves: An Alternative Source of Bioactive Natural Products of Nutritional and Medicinal Value. *Antioxidants-Basel*, 5(2).
- Kolarević, T., Milinčić, D. D., Vujović, T. & Pešić, M. B. (2021). Phenolic Compounds and Antioxidant Properties of Field-Grown and In Vitro Leaves, and Calluses in Blackberry and Blueberry. *Horticulturae*, 7, 420.
- Krzepiło, A., Prażak, R., & Świącilo, A. (2021). Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activity of Raspberry, Blackberry and Raspberry-Blackberry Hybrid Leaf Buds. *Molecules*, 26(2), 327.
- Lazar, L., Talmaciu, A. I., Volf, I., & Popa, V. I. (2016). Kinetic modeling of the ultrasound-assisted extraction of polyphenols from *Picea abies* bark. *Ultrasonics Sonochemistry*, 32, 191—197.
- Mariassyova, M. (2006). Antioxidant activity of some herbal extracts in rapeseed and sunflower oils. *Journal of Food and Nutrition Research*, 45(3), 104—109.
- Neamtu, A.-A., Szoke-Kovacs, R., Mihok, E., Georgescu, C., Turcus, V., Olah, N. K., ... Mathe, E. (2020). Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) Extracts Comparative Analysis Regarding Their Phytonutrient Profiles, Antioxidant Capacity along with the In Vivo Rescue Effects Tested on a *Drosophila melanogaster* High-Sugar Diet Model. *Antioxidants*, 9(11), 1067—1100.
- Okatan, V. (2020). Antioxidant properties and phenolic profile of the most widely appreciated cultivated berry species: A comparative study. *Folia Horticulturae*, 32(1), 79—85.
- Piotrowski, W.; Oszmianski, J.; Wojdyło, A.; Labanowska, B. H. (2016). Changing the content of phenolic compounds as the response of blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) leaves after blackcurrant leaf midge (*Dasineura tetensi* Rubs.) infestation. *Plant Physiol Bioch*, 106, 149—158.
- Polka, D., Podśędek, A., & Koziolkiewicz, M. (2019). Comparison of Chemical Composition and Antioxidant Capacity of Fruit, Flower and Bark of *Viburnum opulus*. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(3), 436—442.

Ponder, & Hallmann. (2019). Phenolics and Carotenoid Contents in the Leaves of Different Organic and Conventional Raspberry (*Rubus idaeus* L.) Cultivars and Their In Vitro Activity. *Antioxidants*, 8(10), 458.

Robles-Ramírez, M. del C., Monterrubio-López, R., Mora-Escobedo, R., Beltrán-Orozco, M., & del, C. (2016). Evaluation of extracts from potato and tomato wastes as natural antioxidant additives. *Antioxidant ef*, 66(1).

Saltan, G., Süntar, I., Ozbilgin, S., Ilhan, M., Demirel, M., Oz, B., Akkol, E. (2016). *Viburnum opulus* L.: a remedy for the treatment of endometriosis demonstrated by rat model of surgically-induced endometriosis. *J Ethnopharmacol*, 193, 450—455.

Sharma, S., Cheng, S.-F., Bhattacharya, B., & Chakkaravarthi, S. (2019). Efficacy of free and encapsulated natural antioxidants in oxidative stability of edible oil: Special emphasis on nano-emulsion-based encapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 305—318.

Smetanska, I., Helfert, J., Appeltauer-Brandl, U. (2016). Antioxidant activity of apple peels. *Mech & Technol*, 52, 61—65.

Tadić, V. M., Nešić, I., Martinović, M. & Žugić, A. (2021). Old Plant, New Possibilities: Wild Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L., Ericaceae) in Topical Skin Preparation. *Antioxidants*, 10, 465.

УДК 664.785.6:664.48

PROSPECTS OF USING COLLOIDAL ZINC SOLUTION IN NAKED OAT GRAIN GERMINATION

A. Dubivko, O. Kochubei-Lytvynenko, O. Cherniushok, N. Pushanko

National University of Food Technologies

Key words:

*Naked oat grain
Germination
Colloidal solution
Dispersion
Nanoparticles
Zinc*

Article history:

Received 06.01.2022
Received in revised form
19.01.2022
Accepted 31.01.2022

Corresponding author:

A. Dubivko

E-mail:

dubivko_anastasiia@
ukr.net

ABSTRACT

The usefulness of using colloidal zinc solution as a kind of growth medium for naked oat grain germination was proved with the purpose of its directed enrichment and further using as an additional ingredient in dairy products for scarcity zinc elimination in consumers diet. Experimental plant for colloidal zinc obtaining, which operating principles was based on electrical sparks dispersion conductive zinc granules in deionized water, was described. This article describes experimental plant technical characteristics too.

Optical emission spectrometry with inductively coupled plasma method for zinc concentration determination in colloidal solution and germinated oat grain was used. Zinc particles size statistical dispersion and colloidal solution electrokinetic potential were determined by using the dynamic light scattering method on the analyzer Malvern Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments Ltd, UK).

It was proved, that zinc colloidal solution, obtained at the experimental electrical sparks plant, is sediment stable, containing particles in the size range from 40 to 300 nm, with an average size of 101.3 ± 5.0 nm. It was demonstrated, that about 50% of metal-containing zinc particles are in the nanoscale range, which increases their bioavailability and functionally technological efficiency.

The influence of zinc concentration in growth medium on naked oat grain buds germination efficiency was shown. It was established, that using colloidal zinc solution with concentration of no more than 0.01 mg/cm^3 , increases the number of germinated grains by 7% with increasing in zinc content in the grain 1.5 times, compared to grains, germinated using deionized water. It was proved, that if zinc concentration in the solution increases over 0.2 mg/cm^3 the phytotoxic effect is observed.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КОЛОЇДНОГО РОЗЧИНУ ЦИНКУ ПРИ ПРОРОЩУВАННІ ЗЕРНА ГОЛОЗЕРНОГО ВІВСА

А. С. Дубівко, О. В. Кочубей-Литвиненко, О. А. Чернюшок, Н. М. Пушанко
Національний університет харчових технологій

У статті обґрунтовано доцільність використання колоїдного розчину цинку як живильного середовища для пророщування зерен вівса голозерного з метою його спрямованого збагачення та подальшого використання як харчового інгредієнта в рецептурах молочних продуктів для усунення дефіциту цинку в раціоні харчування споживачів. Описано експериментальну установку для одержання колоїдного розчину цинку, принцип дії якої полягав в електроіскровому диспергуванні струмопровідних гранул цинку в дейонізованій воді. Наведено її технічні характеристики.

Концентрацію цинку в колоїдному розчині та в пророщеному вівсі визначено методом оптико-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою. Статистичний розподіл розмірів частинок цинку та електрокінетичний потенціал колоїдного розчину визначено методом динамічного світлорозсіювання на аналізаторі Malvern Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments Ltd, UK).

Доведено, що колоїдний розчин цинку, одержаний на експериментальній електроіскровій установці, є седиментаційно стійким, містить частинки в розмірному діапазоні від 40 до 300 нм, із середнім розміром $101,3 \pm 5,0$ нм. Встановлено, що близько 50% металомісних частинок цинку перебуває в нанорозмірному діапазоні, що сприяє підвищенню їх біологічної доступності та функціонально-технологічної ефективності.

Показано вплив концентрації цинку в живильному середовищі на ефективність проростання паростків зерна вівса голозерного. Встановлено, що при використанні колоїдного розчину цинку концентрацією не більше ніж $0,01 \text{ мг/см}^3$ кількість пророслих зерен збільшується на 7% із збільшенням вмісту цинку в самому зерні у 1,5 раза, порівняно із зернами, які проростали з використанням дейонізованої води. Доведено, що при збільшенні концентрації цинку в середовищі понад $0,2 \text{ мг/см}^3$ спостерігається фітотоксичний ефект.

Ключові слова: голозерний овес, пророщування, колоїдний розчин, дисперсність, наночастинки, фортифікація, цинк.

Постановка проблеми. Пріоритетною проблемою харчової промисловості є створення принципово нових технологій комплексного перероблення сільськогосподарської сировини на якісні та безпечні продукти, які сприятимуть усуненню дефіциту або надлишку вітамінів, мікро- і макроелементів, незамінних амінокислот, поліненасичених жирних кислот та інших есенціальних речовин. Перспективним способом вирішення цієї проблеми є введення в рецептури харчових продуктів місцевої сировини, багатой на дефіцитні мікро- та макроелементи і доступної в будь-яку пору року, зокрема зерна вівса.

Голозерний овес відрізняється збалансованим складом: в 100 г зерна міститься 17 г білків, 61,3 г вуглеводів і 3,5 г жирів. Калорійність — 305 ккал. Також до складу зерна входить каротин, вітаміни групи В, вітамін К і вітамін Е. У голозерному вівсі міститься селен, залізо, сірка, фтор, йод, манган і цинк (Мукоїд, Ємельянова, Українець & Свидинюк, 2009). Проте кількість останнього не здатна забезпечити добової потреби, тим паче, що його біодоступність у зерні є низькою (3...4%) (Lemmens, De Brier, Spiers, Ryan, Garrevoet, Falkenberg et al., 2018). Цей мінеральний елемент є одним із унікальних есенціальних елементів, що конкурує за своєю значимістю в метаболізмі людини лише з магнієм, залізом і йодом. Катіони цинку виконують у клітинах каталітичну, структурну та регуляторну функції. Загальний вміст цинку в організмі людини в нормі становить 2—4 г при концентрації в плазмі 12—16 мкм (Gammoh & Rink, 2017). Рекомендована доза споживання цинку коливається в межах 3...15 мг/добу залежно від віку (Cabalero, 2000).

Відома також позитивна роль цинку для забезпечення ряду фізіологічних і біохімічних процесів під час пророщування зерна (Hussain, Haydon, Wong, Sherson, Young, Camakaris, Harper & Cobbett, 2004; Peck & McDonald, 2010), яке останнім часом позиціонується як перспективний функціонально-технологічний інгредієнт при виробництві багатьох харчових продуктів, зокрема молочних.

Сьогодні промислове виробництво продуктів із пророщеного зерна пов'язане з низкою невирішених завдань, зокрема потребує інтенсифікації сам процес його пророщування та створення умов, здатних забезпечити біологічну цінність і мікробіологічну безпеку кінцевого продукту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливістю голозерних форм вівса є відсутність жорстких квіткових плівок, міцно зв'язаних з поверхнею зернівки (20—40% у плівчастих формах вівса), що значно покращує їх технологічні властивості (Friend, Fortin, Kramer, Poste, Butler, & Burrows, 1988; Chu, 2013). Плівки в голозерних форм м'які, не мають щільного зв'язку із зерном і практично повністю відокремлюються в процесі збирання зерна при його обмолоті, що сприяє скороченню технологічного процесу, зменшенню енергетичних витрат і збільшенню виходу готової продукції. Використання голозерного вівса при виробництві круп і пластівців збільшує вихід готової продукції на 20—25%, спрощує технологічний процес виробництва продуктів, сприяє зменшенню собівартості готової продукції (Баталова, 2014), оскільки вироблені з голозерного вівса круп'яні продукти мають кращі споживчі властивості порівняно з традиційними.

Серед амінокислот у голозерному вівсі (в 100 г) наявні: метіонін — 79 мг, аланін — 460 мг, тирозин — 226 мг, лізин — 221 мг, аргінін — 98 мг, фенілаланін — 269 мг, гістидин — 221 мг (Мукоїд, Ємельянова, Українець & Свидинюк, 2009). У свою чергу, гістидин позитивно впливає на засвоюваність цинку (Mills, 2013), тому збагачене цинком пророщене зерно має високий потенціал використання як харчова добавка функціонального призначення.

Відомо, що під час пророщування змінюється кількісний та якісний склад підлягають усі харчові речовини зернівки — вуглеводи (зменшується вміст крохмалю з одночасним збільшенням загального вмісту цукрів), білки (зменшується вміст загального білка з одночасним підвищенням вмісту вільних амінокислот),

жири (вміст вільних ліпідів дещо знижується, зв'язаних — зростає). Найціннішим у процесі пророщування зерна є синтез вітамінів: вміст вітамінів B1, B2, B6, фолієвої кислоти, E і C зростає в 1,5...13,5 рази (Шаран & Шаповаленко, 2004). До того ж зростає біодоступність мінеральних речовин (Lemmens et al., 2018). Так, у (Lemmens, Deleu, De Brier, Smolders & Delcour, 2021) встановлено, що контрольоване замочування та пророщування зерна злакових культур істотно збільшує біодоступність Zn та Fe з 3 та 5% до 27 та 37% відповідно.

Науковцями (Faran et al., 2019; Farooq, Riaz, Abid, Umer & Zikria, 2020, Мазов & Іванищев, 2019) доведено, що підвищений вміст мінеральних речовин, зокрема цинку, в зерні або живильному середовищі сприяє стабілізації процесу проростання зерна та позитивно впливає на їхню стресостійкість. Так, у (Farooq, Riaz, Abid, Umer & Zikria, 2020) зазначено, що рослини із зерна з високим вмістом цинку краще впоралися з Cd-стресом, аніж зерна з низьким чи середнім вмістом цього мінерального елемента.

Вважається, що (Мазов & Іванищев, 2019) в рослинах цей метал впливає на об'єм поглинання води, її транспортування, зменшує негативні ефекти короткочасних періодів теплової дії і сольового стресу, бере участь у синтезі нуклеїнових кислот, метаболізмі вуглеводів і ліпідів тощо. До того ж цинк необхідний елемент при синтезі триптофана, який є попередником гормону росту рослин — індолілової кислоти (Alloway, 2008).

Перспективними напрямками інтенсифікації процесу утворення паростків є комбінування фізичних, хімічних і мікробіологічних способів впливу на сировину. Так, науковцями Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка (Сафонова, Холодова, Бородіна & Єпіхіна, 2011) запропоновано обробку зерна озono-повітряною сумішшю (протягом 30 хв, при концентрації 2 г/м³, що дало змогу стерилізувати зернову масу від усіх видів мікроорганізмів. Іншим способом інтенсифікації пророщування зерна є ультразвукова гідратація зерна (Guimarães, Polachini, Augusto & Telis-Romero, 2020).

Науковцями Національного університету харчових технологій (Патент України 47516. Спосіб збагачення вівса мінеральними речовинами) було розглянуто можливість збагачення зерна мінеральними речовинами шляхом пророщування його у штучних живильних середовищах — розчинах солей металів, зокрема ZnSO₄ та CuSO₄. Спосіб включає такі етапи: створення живильного середовища, підготовку зернової сировини, насичення зерна мінеральними речовинами, замороження мінералізованого зерна, сублімацію кристалізованої води, досушування сублімованого зерна, його дезінтеграцію та механоактивацію. Спосіб забезпечує достатню мінералізацію зерна, проте вимагає вартісного технічного оснащення, зокрема сублімаційної сушарки. Це, у свою чергу, обмежує використання зазначеного способу, особливо в умовах малих потужностей.

В (Антоненко, 2014) пропонувалось використання як живильного середовища розчину морської солі. Пророщування зерна на такому живильному середовищі сприяло збільшенню вмісту натрію, магнію і цинку. Проте досягнутий рівень збагачення цинком не забезпечував вирішення проблеми дефіциту цього есенціального елемента за одночасного надлишку йонів натрію та хлориду. До того ж присутність мінеральних домішок у солі, зокрема йонів Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, Sr²⁺,

сприяла їх міграції до зерна і була небажаною з огляду на потенційні зміни органолептичних властивостей паростків зерна. Відомості щодо перспектив інтенсифікації пророщення зерна з використанням такого живильного середовища в (Антоненко, 2014) відсутні.

У праці (Мазов & Іванищев, 2019) описані результати впливу різних концентрацій сульфата цинку на пророщення зерна пшениці (*Triticum aestivum* L.). Встановлено позитивний вплив солі в живильному середовищі в концентрації 0,1 μM на такі показники, як довжина паростків, сира та суха маса паростків і коріння, тоді як підвищення концентрації сульфата цинку до 10 μM призводило до гальмування формування кореневої системи. Отримані результати мають практичний інтерес для уточнення межі концентрації сульфату цинку, за якої відбувається стимуляція проростання зерна пшениці. Водночас, враховуючи можливі відмінності у процесах проростання різних видів зерна, бракує відомостей про вплив солі на проростання інших зернових, зокрема голозерного вівса.

У (Kovalchuk, Shiyan, Mudrak, Kuts & Kurylenko, 2017) встановлено позитивний вплив наночастинок Mg та Zn на біоконверсію сусла та синтез органічних сполук: при їх використанні вдалось збільшити концентрацію дріжджових клітин у суслі в 1,3...2,0 рази, вміст спирту на 1,2...1,5%, а також знизити вміст нерозчинного крохмалю на 10...35%.

Альтернативним способом позбавлення від небажаного впливу сульфатів, хлоридів та інших йонів на схожість зерна при застосуванні в живильному середовищі неорганічних солей було запропоновано використання колоїдного розчину цинку і міді та їхнього комплексу (Гончар, 2016). Автором встановлено зростання польової схожості зерна вівса за рахунок оброблення посівного матеріалу колоїдними розчинами наноматеріалів і відмічено потенціал до інтенсифікації пророщування вівса застосуванням колоїдного розчину цинку. Проте в праці відсутні відомості щодо рівня збагачення пророслого зерна таким важливим елементами як цинк, увага сконцентрована на дослідженні умов для ефективної схожості рослин і формуванні кореневої системи.

На підставі вищезазначеного та враховуючи біологічну й функціонально-технологічну роль цинку науковий інтерес представляє дослідження доцільності використання колоїдного розчину цинку як живильного середовища для пророщування зерен вівса голозерного з метою його спрямованого збагачення та подальшого використання як харчового інгредієнта в рецептурах молочних продуктів для усунення дефіциту цинку. В цьому напрямі на увагу заслуговує дослідження дисперсних характеристик колоїдного розчину частинок як важливого чинника в підвищенні біологічної доступності мінеральних елементів.

Мета статті: дослідження перебігу процесу пророщування зерна вівса голозерного з використанням колоїдного розчину цинку різної концентрації як живильного середовища.

Матеріали і методи. Як об'єкта дослідження було обрано голозерний овес сорту «Самюель» урожаю 2021 року. Перед початком пророщення зерна перебирали з метою виключення пошкоджених зернин, промивали дейонізованою водою та стерилізували гострою парою протягом 30 секунд.

Пророщування проводили у трирівневому пророщувачі ProVita на фільтрувальному папері, змоченому колоїдним розчином цинку різної концентрації в дослідних зразках і дейонізованою водою в контролі. Умови пророщування: температура $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$, природне освітлення. Протягом 2 діб спостерігали за формуванням паростків.

Для забезпечення достовірності даних експеримент повторювали тричі.

Колоїдний розчин цинку одержували методом електроіскрового диспергування струмопровідних гранул цинку в дейонізованій воді на експериментальній електроіскровій установці періодичної дії, розробленій науковцями Національного університету біоресурсів та природокористування України (Патент України 46533. Спосіб отримання композиційних наночастинок). Схема установки наведена на рис. 1.

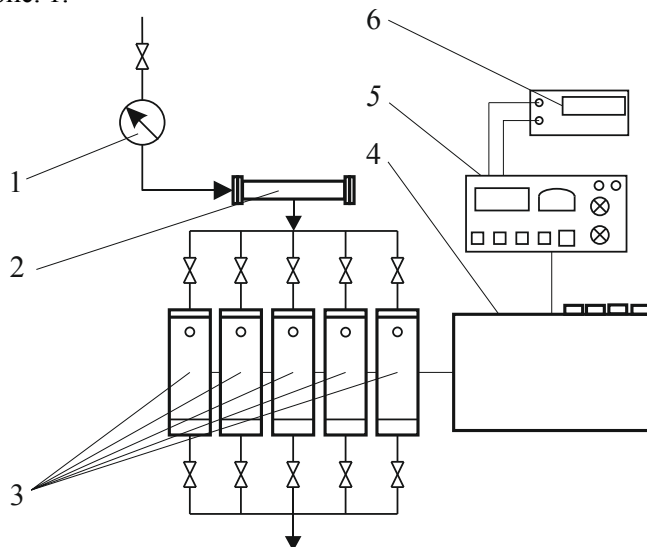


Рис. 1. Схема експериментальної електроіскрової установки для одержання колоїдного розчину цинку:

- 1 — манометр; 2 — колектор розподілу дейонізованої води між реакційними камерами; 3 — розрядні реакційні камери зі струмопровідним шаром цинку; 4 — генератор розрядних імпульсів (ГРІ) для цинку; 5 — пульт управління ГРІ; 6 — контрольно-вимірювальний прилад

Основним елементом лабораторного технологічного комплексу був генератор розрядних імпульсів (4) з частотою імпульсів $0,2 \dots 2,0$ кГц та індуктивністю розрядного контура 1 мкГ. Силова частина установки побудована на тристоронній елементній базі, як накопичувач енергії використано конденсатор. Гранули цинку, що підлягали диспергуванню, розміщували на днищі розрядної камери (3) об'ємом до 1000 см^3 між основними електродами, виготовленими з відповідного металу.

Під час роботи установки крізь шар довільно розміщених гранул цинку проходив імпульс напруги, що викликав комутацію струму в електропровідному шарі гранул з утворенням локальних іскрових розрядів.

Використання низької напруги (до 80...100 В) та формування невеликих між-електродних проміжків між гранулами (до 0,1 мм) забезпечувало режими їх диспергування, коли до 85% всієї накопиченої енергії на конденсаторі спрямовувалося на локальне розігрівання поверхні електродів (Лопатько, Афтанділянц, Зазимко & Трач, 2016). В результаті електричної ерозії поверхні гранул металів відбувалося випаровування та конденсація металу в оброблюваному середовищі з отриманням металовмісних частинок.

Статистичний розподіл розмірів частинок цинку та електрокінетичний потенціал (ζ -потенціал) колоїдного розчину визначали методом динамічного світлорозсіювання на аналізаторі Malvern Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments Ltd, UK). Для дослідження статистичного розподілу зразки колоїдного розчину цинку об'ємом 1,0 см³ поміщали в одноразові оптично прозорі кювети з полістиролу (DTS 0012) розміром 1×1 см та проводили вимірювання при довжині хвилі $\lambda=633$ нм. Для вимірювання ζ -потенціалу використовували занурювальні кювети (ZEN 1002). З метою отримання більш точних даних і виключення випадкових значень вимірювання проводили в п'ятикратній повторюваності. Робота приладу контролювалась з використанням програмного забезпечення Malvern Zetasizer Software, отримані результати оброблялись пристроєм автоматично та виводились на монітор у вигляді електронного звіту.

Концентрацію цинку в колоїдному розчині та зразках пророщеного зерна досліджували методом оптико-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ОЕС-ІЗП), прилад Optima 210 DV, виробник PerkinElmer (США). Дослідження проводились в ДУ «Інститут медицини праці імені Ю. І. Кундієва НАМН». Для цього у наважки по 0,1 г зразків зерна, пророщеного на дейонізованій воді (контроль) та на колоїдному розчині цинку, додавали по 3,0 см³ конц. HNO₃ (Merck) у PTF ємності, відстоювали впродовж двох годин, додавали 4 см³ дистильованої води та мінералізували закритим способом у мікрохвильовій печі Mars-one. Отриманий розчин мінералізату розчиняли в дейонізованій воді (18 Ω) до об'єму 10 см³ та аналізували методом ОЕС-ІЗП.

Викладення основних результатів дослідження. Оскільки біологічна доступність і функціонально-технологічна ефективність мінеральних елементів (зокрема, цинку) в тій чи іншій мірі залежить від розміру частинок, а домінування нанорозмірної фракції сприяє посиленню їх біологічної ефективності (Шляхто, 2009), то передусім у досліджуваному колоїдному розчині визначали дисперсні характеристики частинок цинку. Колоїдний розчин цинку одержували електроіскровим диспергуванням за технологією професора К. Г. Лопатька (Лопатько, Афтанділянц, Зазимко & Трач, 2016) за таких параметрів: напруга зарядки конденсатора — 80...100 В, ємність конденсатора — 100 мкФ, час оброблення — 120 с, середовище — дейонізована вода з електропровідністю 0,001...0,003 мС/см.

Методом оптико-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою встановлено, що концентрація цинку в отриманому колоїдному розчині становила 0,045 мг/см³.

Дисперсійний аналіз металовмісних частинок дав змогу встановити, що отриманий колоїдний розчин цинку містив частинки у розмірному діапазоні 40...300 нм з піком на рівні 115,7 нм (рис. 2). Для збільшення точності одержаних даних вимірювання проводилось п'ять разів.

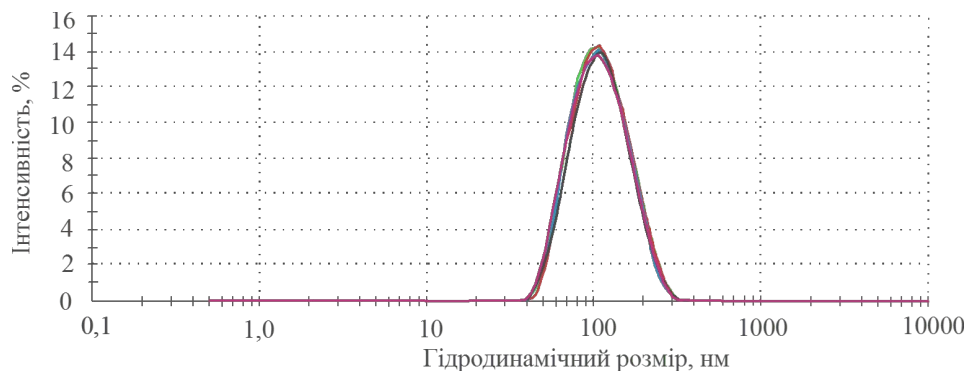


Рис. 2. Криві розподілу частинок цинку в колоїдному розчині за розмірами

Близько 50% металовмісних частинок перебувало в нанорозмірному діапазоні. Середній діаметр металовмісних частинок становив $(101,3 \pm 5,0)$ нм (табл. 1).

Відмічено, що індекс полідисперсності колоїдного розчину дорівнював 0,101, що вказує на гомогенність одержаної системи, яка характеризується седиментаційною й агрегативною стійкістю (Мchedlov-Петросян, Лебідь, Глазкова & Лебідь, 2012).

Також про стабільність отриманого колоїдного розчину цинку свідчить значення його електрокінетичного потенціалу (табл. 1), який характеризує агрегатну стійкість колоїдної системи (Мchedlov-Петросян, Лебідь, Глазкова & Лебідь, 2012). При цьому величина і знак ζ -потенціалу є її чутливими характеристиками та різняться для різних металів (Лопатько, Афтандіянц, Зазимко & Трач, 2016). Отримані результати вимірювання ζ -потенціалу одержаного колоїдного розчину цинку, який має від'ємний знак та абсолютне значення $(15,4 \pm 0,7)$ мВ узгоджуються із даними інших дослідників (Лопатько, Афтандіянц, Зазимко & Трач, 2016) і підтверджують отримання агрегатно стійкої системи. Це, у свою чергу, підтверджує, що в живильному середовищі будуть домінувати нанорозмірні металовмісні частинки.

Таблиця 1. Дисперсні та фізичні характеристики колоїдного розчину цинку, одержаного електроіскровим диспергуванням

Параметр	Одиниці вимірювання	Числове значення
Середній гідродинамічний розмір	нм	$101,3 \pm 5,0$
Індекс полідисперсності	ум. од.	0,101
ζ -потенціал	мВ	$-(15,4 \pm 0,7)$
Електропровідність	мС/см	$0,101 \pm 0,005$

Зважаючи на те, що концентрація мінеральних елементів у живильному середовищі має впливові значення на проростання зерна та формування зеленої маси (Мазов & Іванищев, 2019; Гончар & Щербакова, 2016), на наступному етапі досліджень визначали раціональну концентрацію цинку в колоїдному розчині для покращання та інтенсифікації пророщування зерна голозерного вівса. З цією метою отриманий електроіскровим диспергуванням колоїд цинку розводили деіонізованою водою до концентрації 0,005; 0,01; 0,015; 0,02; 0,025 мг/см³. Попередньо відібрані та стерилізовані зерна викладали в ємність тонким

шаром і замочували в дейонізованій воді. Через 6 год було зафіксовано істотне збільшення зерна в об'ємі, а через 12 год зерно збільшилось в об'ємі вдвічі.

Після замочування воду зливали, зерно ретельно промивали кип'яченою дейонізованою водою для усунення можливості зараження грибковими мікроорганізмами та бактеріями. В кожену секцію пророщувача на фільтрувальний папір, змочений колоїдним розчином певної концентрації, укладали однакову кількість зернин і кожні 8 год зволожували їх тим самим розчином. За період пророщування зерна двічі промивали кип'яченою дейонізованою водою. Процес утворення паростків фіксували візуально через кожні 6 годин.

Встановлено, що зерна вівса почали проростати через 12 год після укладання в секції пророщувача, при чому цей процес мав кореляційний зв'язок із концентрацією цинку в живильному середовищі: в секції контролю було виявлено 2% зерен з паростками (корінцями близько 2 мм), тоді як у секціях з концентрацією колоїдного розчину цинку 0,005 (зразок 1) мг/см³ та 0,01 (зразок 2) мг/см³ їх відсоток був збільшений удвічі, в секціях з концентрацією цинку 0,015 мг/см³ (зразок 3) і 0,02 мг/см³ (зразок 4) — зменшено до 1%, а в секції з концентрацією цинку 0,025 мг/см³ (зразок 5) відсутнє. Тенденція проростання зберігалась і в подальшому — найінтенсивнішу та найвищу схожість мало зерно в секції, де як поживне середовище було використано зразок 2 — 100% пророслих зерен, при чому відмітку в 90% схожості зерна досягли через 30 год після почату пророщення, найнижчу схожість мало зерно в секції зі зразком 5 — 10% пророслих насінин, причому нові зерна перестали проростати вже через 24 год (табл. 2).

Таблиця 2. Результати схожості зерен вівса голозерного при різних концентраціях цинку в живильному середовищі

Концентрація цинку, мг/см ³	Замочування		Пророщування на колоїдному розчині				
	6 год	12 год	% пророщених зерен				
			24 год	30 год	36 год	42 год	48 год
0,005	зерно збільшилось в об'ємі	зерно збільшилось в об'ємі	4 ± 0,20	21 ± 1,20	73 ± 3,21	93 ± 1,63	98 ± 1,32
0,01			4 ± 0,18	23 ± 1,30	75 ± 3,32	96 ± 1,78	99 ± 0,25
0,015			1 ± 0,03	16 ± 0,61	60 ± 2,89	79 ± 3,92	88 ± 4,37
0,02			1 ± 0,04	12 ± 0,55	30 ± 1,48	39 ± 1,93	46 ± 2,29
0,025			0	6 ± 0,31	10 ± 0,48	10 ± 0,049	10 ± 0,48
контроль (дейонізована вода)			2 ± 0,11	18 ± 0,87	65 ± 3,23	82 ± 4,08	93 ± 2,63

Проведені дослідження довели, що концентрація колоїдного розчину цинку впливає на час пророщування зерна: при зміні концентрації колоїдного розчину від 0,005 до 0,01 мг/см³ час пророщування зменшується до 30 год, а кількість пророщених зерен збільшувалася порівняно з контролем на 5 і 7% відповідно.

За концентрації цинку в живильному середовищі 0,015 мг/см³ процес проростання зерен несуттєво знижується — кількість пророщеного зерна зменшилась на 5% порівняно з контролем, за концентрації цинку 0,02 мг/см³ кількість пророщеного зерна зменшилась на 47%, а за концентрації 0,025 мг/см³ проростання практично повністю припиняється (спостерігається поодинокі утворення паростків у зерен, що не перевищує 10% від загальної кількості укладеного в секцію).

Пророщування припиняли через 36 год після укладання зерна в секції.

Отримані результати довели, що використання колоїдного розчину цинку з концентрацією $0,005 \dots 0,01 \text{ мг/см}^3$ мало позитивний вплив на пророщування зерна вівса голозерного та підвищувало відсоток пророслих зерен порівняно з контролем. Подальше зростання концентрації, навпаки, спричиняло негативний вплив на цей процес, спостерігалася його фітотоксичність, відсоток пророслих зерен різко зменшувався.

На підставі аналізу отриманих експериментальних даних рекомендованою концентрацією цинку для ефективного пророщування зерна вівса було визнано $0,005 \dots 0,01 \text{ мг/см}^3$.

На наступному етапі, зважаючи на подальше використання пророслих зерен вівса у рецептурах молочних продуктів, зокрема молочно-рослинних смузі, ферментованих напоях, сиркових пастах, морозиві тощо, визначали ефективність фортифікації голозерного вівса цинком при пророщуванні на колоїдному розчині.

Оскільки свіже проросле зерно непридатне для довготривалого зберігання та негативно впливає на технологічні характеристики за його промислового використання, отримані зразки висушували до вмісту вологи не більше ніж 15%. Потім зразки подрібнювали в борошно з розмірами частинок $430 \dots 850 \text{ мкм}$, а в середній пробі визначали вміст цинку методом оптико-емісійної спектrometerії з індуктивно-зв'язаною плазмою. Об'єктами досліджень були такі зразки: зразок 1 (контроль) отримували із зерна вівса, пророслого на дейонізованій воді; зразок 2 (дослідний зразок) — із зерна, пророслого на колоїдному розчині цинку з концентрацією $0,01 \text{ мг/см}^3$. Встановлено, що вміст цинку в контролі становив $29,35 \pm 0,07 \text{ мкг/г}$, а в дослідному зразку його вміст зріс у 1,5 раза і становив $44,77 \pm 0,35 \text{ мкг/г}$.

Отримані результати довели доцільність використання колоїдного розчину цинку як живильного середовища для пророщування зерна голозерного вівса з метою його цілеспрямованого мінерального збагачення. Такий натуральний функціональний інгредієнт потенційно матиме широкий спектр шляхів використання в технології харчових продуктів спеціального призначення, зокрема молочних.

Висновки

1. Доведено, що колоїдний розчин цинку, одержаний на експериментальній електроіскровій установці, є седиментаційно стійким, містить частинки в розмірному діапазоні від 40 до 300 нм, з середнім розміром $101,3 \pm 5,0 \text{ нм}$. Близько 50% металовмісних частинок перебуває в нанорозмірному діапазоні, що сприяє підвищенню біологічної доступності та функціонально-технологічної ефективності цинку.

2. Доведено вплив концентрації цинку в живильному середовищі на ефективність проростання паростків зерна вівса. Так, за концентрації від $0,005$ до $0,01 \text{ мг/см}^3$ спостерігався позитивний вплив на цей процес, а за концентрації понад $0,2$ відмічався фітотоксичний ефект.

3. Встановлено, що пророщування вівса з використанням колоїдного розчину цинку концентрацією не більше ніж $0,01 \text{ мг/см}^3$ сприяло зростанню відсотка пророслих зерен порівняно з контролем на 7% та збільшенню вмісту цинку в зерні у 1,5 раза порівняно з контролем, який проростав на дейонізованій воді.

Результати досліджень вказують на високий потенціал використання колоїдного розчину цинку як живильного середовища для пророщування вівса голозерного й одержання фортифікованого борошна, яке може бути використане як натуральний функціонально-технологічний інгредієнт для цілого спектра харчових продуктів.

Література

- Антоненко, А. В. (2014). Борошно з пророщеного зерна вівса як основа для борошняних кондитерських виробів. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*, 46(1), 149—153.
- Баталова, Г. А. (2014). Перспективы и результаты селекции голозерного овса. *Зернобобовые и крупяные культуры*, 2(10), 64—69.
- Гончар, Л. М., Щербакіова, О. М. (2016). Вплив передпосівного оброблення насіння нуту на польову схожість та густоту стояння рослин. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 3, 46—49.
- Лопатько, К. Г., Афганділянц, Є. Г., Зазимко, О. В., & Трач, В. В. (2016). *Фізика, синтез та біологічна функціональність нанорозмірних об'єктів: монографія*. Київ: Вид-во НУБіП України.
- Мазов, В. В., Іванищев, В. В. (2019). Формирование проростков пшеницы в присутствии сульфата цинка в среде. *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*, 2, 22—30.
- Мукоїд, Р. М., Ємельянова, Н. О., Українець, А. І., & Свидинюк, І. М. (2009). Амінокислотний склад білків зерна різних сортотипів вівса. *Харчова промисловість*, 8, 14—16.
- Мчедлов-Петросян, М. О., Лебідь, В. І., Глазкова, О. М., & Лебідь, О. В. (2012). *Колоїдна хімія: підручник*. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна.
- Сафонова, О. М., Холодова, О. А., Бородіна, А. В., Єпіхіна, Т. А. (2011). Дослідження впливу озono-повітряної суміші на процес пророщення зерна пшениці. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*, 40(1), 50—53.
- Шаповаленко, О. І., Євтушенко, О. О., Степчук, І. М. (2012). Зміни в хімічному складі зерна ячменю після його пророщування. *Зберігання і переробка зерна*, (12), 64—65.
- Шаран, А. В., Шаповаленко, О. І. (2004). Дослідження технології екструдування пророслих зерен. *Хранение и переработка зерна*, (9), 40—41.
- Шляхто Е. В. (Ред.). *Нанотехнологии в биологии и медицине: коллективная монография*. СПб: Санкт-Петербург.
- Alloway, B. J. (2008) *Zinc in Soils and Crop Nutrition*. International Zinc Association & International Fertilizer Industry Association. Взято з: <https://books.google.com.ua>.
- Caballero, B. (2005). *Encyclopedia of human nutrition*. Elsevier.
- Chu, Y. (Ed.) (2013). *Oats nutrition and technology*. John Wiley & Sons.
- Faran, M., Farooq, M., Rehman, A., Sallem M. K., Ali N., Siddique K. H. M. (2019) High intrinsic seed Zn concentration improves abiotic stress tolerance in wheat. *Plant Soil*, 437, 195—213.
- Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Umer, T., Zikria, Y. B. (2020). Role of IoT technology in agriculture: A systematic literature review. *Electronics*, 9(2), 319.
- Friend, D. W., Fortin, A., Kramer, J. K. G., Poste, L. M., Butler, G., Burrows, V. D. (1988). Feeding and metabolism trials, and assessment of carcass and meat quality for growing-finishing pigs fed naked oats (*Avena nuda*). *Canadian Journal of Animal Science*, 68(2), 511—521.
- Gammoh, N. Z., Rink, L. (2017). Zinc in infection and inflammation. *Nutrients*, 9(6), <https://doi.org/10.3390/nu9060624>.
- Guimarães, B., Polachini, T. C., Augusto, P. E., Telis-Romero, J. (2020). Ultrasound-assisted hydration of wheat grains at different temperatures and power applied: Effect on acoustic field, water absorption and germination. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 155, Доступно за посиланням: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108045>.

Hussain, D., Haydon, M. J., Wang, Y., Wong, E., Sherson, S. M., Young, J., ... Cobbett, C. S. (2004). P-type ATPase heavy metal transporters with roles in essential zinc homeostasis in *Arabidopsis*. *The plant cell*, 16(5), 1327—1339.

Kovalchuk, S., Shiyan, P., Mudrak, T., Kuts, A., Kyrylenko, R. (2017). Investigation of the influence of nanoparticles of metals on fermentation of wort of high concentrations. *Eureka: Life Sciences*, (6), 51—56.

Lemmens, E., De Brier, N., Spiers, K. M., Ryan, C., Garrevoet, J., Falkenberg, G., ... Delcour, J. A. (2018). The impact of steeping, germination and hydrothermal processing of wheat (*Triticum aestivum* L.) grains on phytate hydrolysis and the distribution, speciation and bio-accessibility of iron and zinc elements. *Food chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.125>.

Lemmens, E., Deleu, L. J., De Brier, N., Smolders, E., Delcour, J. A. (2021). Mineral bio-accessibility and intrinsic saccharides in breakfast flakes manufactured from sprouted wheat. *LWT*, 143, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111079>.

Mills, C. F. (Ed.). (2013). *Zinc in human biology*. Springer Science & Business Media.

Peck, A. W., & McDonald, G. K. (2010). Adequate zinc nutrition alleviates the adverse effects of heat stress in bread wheat. *Plant and soil*, 337(1), 355—374.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» запрошує вас до публікації наукових праць (<http://sw.nuft.edu.ua>).

До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Автор, який подає матеріали до друку, зберігає за собою всі авторські права та надає відповідному виданню право першої публікації, дозволяючи розповсюджувати матеріал із зазначенням авторства й джерела первинної публікації, а також погоджується на розміщення її електронної версії на сайті Національної бібліотеки ім. В. І. Вернадського та у відкритому доступі в електронній мережі університету. Автор надає право редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути видана лише одна стаття автора (як власна, так і в співавторстві).

На електронну адресу журналу (prnuht@ukr.net) необхідно надіслати такі документи:

- файл статті;
- рецензію доктора наук певної галузі (за тематичною спрямованістю статті). Якщо один із авторів статті є доктором наук, то рецензія необов'язкова;
- заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань;
- витяг з протоколу засідання кафедри (підрозділу) з рекомендацією роботи до друку.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті подаються у вигляді вичитаних роздруків на папері формату А4 (поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word). У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані. Обсяг статті має бути не менший 15 тис. знаків і не перевищувати 24 тис. знаків (як виняток, не більше 40 тис. знаків).

ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ

1. Індекс УДК.
2. Назва статті (англійською та українською мовами).
3. Ініціали та прізвища авторів англійською та українською мовами.
4. Анотація англійською та українською мовами (не менше 1800 символів з пробілами). Анотація має бути максимально інформативною, це окремий текстовий документ, у якому лаконічно викладені результати дослідження. У тексті анотації не варто використовувати загальні фрази, вказувати несуттєві деталі й загальновідомі положення. Також слід уникати прямих цитат будь-яких фрагментів статті.
5. Ключові слова (5—6 слів/ключових словосполучень англійською та українською мовами).
6. Структура текстової частини:
 - постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями;
 - аналіз останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор;
 - формулювання мети статті;
 - викладення основних результатів дослідження;
 - висновки і перспективи подальших наукових досліджень.
7. Після тексту статті в алфавітному порядку наводиться список літературних джерел (не менше п'яти джерел). **Бібліографічні описи оформляються згідно з міжнародним стилем APA.** Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на наукові праці останніх років. Також слід обмежити посилання на власні публікації, оскільки це знижує наукову цінність статті та індекс цитування автора. Не можна посилатись на національні стандарти, технічні умови, підручники, конспекти лекцій, лабораторні практикуми та іншу ненаукову літературу. Посилання на патенти слід робити в тексті статті, вказавши лише номер та назву патенту.

У статті мають бути проаналізовані напрацювання вчених з усього світу. На основі аналізу сучасних статей з англомовних журналів має бути доведена актуальність теми у світі, визначені питання, які потребують вирішення, сформульована мета дослідження.

8. Таблиці (у Word або Excel) можна подавати як у тексті, так і в окремих файлах (на окремих сторінках). Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Слово «Таблиця» і номер друкуються курсивом, заголовок — напівжирним шрифтом. Таблиці повинні мати книжковий формат і вільно вміщатися у висоту і ширину журнальної сторінки.

9. Ілюстрації (креслення, рисунки, схеми, діаграми) мають бути розміщені в тексті. **Обов'язковою вимогою** є надсилання оригінальних файлів рисунків, створених у програмах-редакторах Corel Draw X6, Origin. Всі елементи рисунка (типи, товщина і колір ліній, шрифт текстів тощо) мають вільно редагуватися у наявному програмному забезпеченні). Рисунки в растрових форматах (bmp, gif, jpeg, tif) або у форматі pdf не приймаються до розгляду, оскільки не можуть вільно редагуватися. **Вимоги до оформлення рисунків:** вісь координат — 0,2 мм, без сітки, сам рисунок (наприклад, крива) — 0,35 мм, текст в рисунку — Times New Roman 9,5, ширина рисунка — до 13 см. Всі рисунки мають бути чорно-білими. Підписи до рисунків набираються безпосередньо під рисунками прямим напівжирним шрифтом.

Фотографії мають бути чіткими та контрастними (формати TIF, JPG з роздільною здатністю 300 dpi), розмірами 6×9. Фотографії друкуються в разі крайньої потреби, якщо наведена на них інформація має значну наукову цінність. Авторам краще завантажити фотографії у хмарний сервіс і в списку літератури дати на них посилання.

10. Математичні формули повинні бути роздруковані з правильним виділенням верхніх і нижніх індексів. Нумерація формул здійснюється арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки. Індеси від скорочених українських слів друкуються прямим шрифтом малими літерами. В індексах, що складаються з двох скорочених слів, після першого скороченого слова ставиться крапка, після другого — крапка не ставиться. Цифри в індексах також друкуються прямим шрифтом. Індеси, позначені латинськими літерами, друкуються курсивом. У формулах літери латинського алфавіту набираються курсивом, грецького й українського — прямим шрифтом.

Хімічні формули набираються прямим шрифтом. Математичні символи, що входять до складу хімічних формул, — курсивом.

Формули вставляються безпосередньо в текст. Прості формули набираються з клавіатури, а складні — за допомогою редактора формул Microsoft Equation 3.0 object або Math Type 5,6. Інші версії редакторів формул є неприйнятними. Символи вставляються тільки через таблицю символів. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

11. Відомості про авторів статті повинні бути наведені за єдиним зразком у вказаному порядку: прізвище (прописними літерами), ім'я та ім'я по батькові (повністю); наукове звання; посада чи професія, місце роботи; телефон, E-mail.

12. Дата надходження статті до редакції (після тексту надрукованого матеріалу).

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається**. Переклад має бути належної якості.

Відсутність будь-якого з пунктів переліку, зазначеного вище, рецензії, невідповідність вимогам до оформлення, наявність орфографічних, граматичних, стилістичних помилок, автоматичний переклад елементів матеріалу є підставою **для відмови** в прийнятті статті до друку.

Автор несе відповідальність за додержання вимог чинного законодавства при підготовці матеріалів, у тому числі норм авторського права і достовірність наведених фактичних даних (цитат, посилань, імен, назв тощо).

Адреса редакції:

Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68,
корпус Б, к. 412,
м. Київ, 01601

Контактні телефони: міський — (044) 287-92-95, внутрішній — 92-95.

E-mail: npnuht@ukr.net

SUBMISSION GUIDELINES

Dear colleagues,

The editorial board of the Journal “Scientific works of the National University of Food Technologies” invites you to the publication of your manuscripts (<http://sw.nuft.edu.ua>).

Only the manuscripts that have not previously been published in print and electronic media are accepted. The author who submits materials for publication reserves the copyright and provides the right of first publication to the Journal, allows to distribute the manuscript indicating the authorship and the primary source of publication and agrees to placing the electronic version of the manuscript on the website of the V. I. Vernadsky National Library of Ukraine, publicly available electronic network of the University. The author gives the right to the editorial board to review and reject the material submitted for publication. The author can publish one manuscript (of his/her single authorship or co-authored) per every issue of the Journal.

The following documents are necessary to be sent to the e-mail address of the journal (npuht@ukr.net):

- Electronic version of the manuscript;
- A review of the manuscript by a doctorate of the corresponding branch of science. If one of the authors is a doctorate him/herself, then a review is not necessary;
- A statement signed by the author(s) that the manuscript has not been published and is not submitted for publication;
- Extract from the minutes of the department / unit of the organization confirming that the manuscript is recommended for publication.

REQUIREMENTS FOR MANUSCRIPTS

The printed version of the manuscript should be submitted on A4 paper (margins of 2 cm, Time New Roman, type size 14, spacing 1.5) and the electronic version should be submitted in a Microsoft Word document. There should be no blank lines in the manuscript. No extra spaces are allowed between the words. All pages of the manuscript should be numbered. The size of the manuscript should be from 12,000 to 24,000 characters (as an exception, up to 40,000 characters).

SEQUENCE OF STRUCTURAL ELEMENTS OF THE MANUSCRIPT

1. UDC index.
2. The title of the manuscript (in English, Ukrainian).
3. Full names of the authors in English, Ukrainian (not more than four authors).
4. An abstract in English, Ukrainian (not less than 1800 characters with spaces). The abstract should be highly informative, it is a separate text document in which the results of the research must be summarized. General phrases, insignificant details and well-known provisions shouldn't be written in the abstract. Direct repetitions of any parts of the article should be also avoided.
5. A list of keywords (5—6 words or key phrases in English, Ukrainian).
6. The structure of the text:
 - Problem definition and its relationship with important practical tasks;
 - Analysis of recent studies and publications related to subject matter of the manuscript;
 - Problem statement (statement of purpose of the manuscript);
 - Presentation of the main material;
 - Conclusions and recommendations for further research.
7. A list of references (not less than 5) of their quotation should be presented after the text of the manuscript. **Bibliographic descriptions should be made according to international style APA.** Bibliographic descriptions should be submitted in the language of their edition. Links to unpublished materials are not allowed. The list of references should contain links only to recent and relevant studies. National standards, specifications, textbooks, lecture notes, laboratory workshops and other non-scientific literature must not be referenced. References to patents should be made in the text of the article, indicating only the number and title of the patent. In the list of references, the sources should be presented in alphabetical order.

The investigations of scientists from all over the world should be analyzed in the article. Based on the analysis of modern articles from English-language journals, the relevance of the topic in the world

should be proved, the issues which need to be solved should be identified, and the purpose of the research should be formulated.

8. Tables (in Word and Excel) can be submitted both in the text of the manuscript and in separate files (on separate pages). Each table should have a title, typed in bold, and its serial number if there are several tables. The word “Table” and number are printed in italics; the title is printed in bold. Tables should be in book format and fit freely in the height and width of the journal page.

9. Figures, images and tables should be performed in Corel Draw, Origin on white paper and placed both in the text and in separate files. Captions should be typed in bold directly under the figures. Images must be clear and contrasting (TIF, JPG with a resolution of 300 dpi); the size 6×9. Photos are printed in case of extreme necessity, if they provide information of the significant scientific value.

10. Mathematical formulas should be typed with the correct placing of upper and lower indices. The formulas should be numbered by Arabic numerals in parentheses at the right margin of the page. The indices of Ukrainian abbreviated words should be typed in bold and in lower case. The first word of an index, consisting of two abbreviated words, should be followed by a dot, and the second word has no dot. The numbers in the indexes are typed in upright font. Indexes should be typed in Latin letters and in italics. In formulas, the letters of Latin alphabet are typed in italics; Greek and Ukrainian letters are in upright font.

Chemical formulas should be typed in upright font. Mathematical symbols that make up the chemical formulas should be typed in italics.

Formulas should be put directly into the text. Simple formulas are typed from the keyboard, and complex — using the Microsoft Equation 3.0 object or MathType 5.6. Other equation editors are unacceptable. The characters are inserted only through the symbol table. The contraction of physical units must comply with the rules of the International System of Units (SI).

11. Information about the authors should be given as follows: second name (in uppercase letters), first name and patronymic (in full); academic title; position or profession, place of work; phone number, E-mail.

12. The date when the manuscript was received by the editorial board.

The use of **automatic translation** for any part of your text (manuscript, abstract, keywords) **is not allowed**. Translation must be of good quality.

The absence of any item listed above; absence of abstracts; non-compliance to the design requirements; spelling, grammatical, stylistic errors; automatic translation of any part of the manuscript are the grounds **for refusal** to accept the manuscript for publication.

The author is fully responsible for compliance with current legislation, including the rules of copyright and the consistency of data (quotations, references, names, etc.).

Editorial office address:

National University of Food Technologies
Volodymyrska str., 68,
building B, room 412
01601 Kyiv, Ukraine
E-mail: npnuht@ukr.net