



2024

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 30 № 5

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

КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2024

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 Б, room 412
01601 Kyiv, Ukraine

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Protocol No. 3 from 31th of October, 2024

© NUFT, 2024

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 № 3 від 31 жовтня 2024 року

© НУХТ, 2024

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
Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Відповідальний секретар

Managing secretary

Анастасія Шевченко
Anastasiia Shevchenko

канд. техн. наук, доц., Україна
Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Члени редакційної колегії:

Агота Гєдре Райшене
Agota Giedre Raisiene

д-р екон. наук, Литва
Dr. Sc., Lithuanian Institute of Agrarian Economics,
Lithuania

Андрій Маринін
Andrii Marynin

канд. техн. наук, ст. наук. сп., Україна
Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Валерій Мирончук
Valerii Myronchuk

д-р техн. наук, проф., Україна
Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Василь Кишенько
Vasyl Kyshenko

канд. техн. наук, доц., Україна
Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Василь Пасічний
Vasyl Pasichnyi

д-р техн. наук, проф., Україна
Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

В'ячеслав Івашук
Vyacheslav Ivaschuk

д-р техн. наук, проф., Україна
Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Віктор Стабніков
Viktor Stabnikov

д-р техн. наук, проф., Україна
Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Володимир Зав'ялов
Volodymyr Zavialov

д-р техн. наук, проф., Україна
Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Галина Полішук
Halyna Polishchuk

д-р техн. наук, проф., Україна
Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Герхард Шльонінг
Gerhard Schleining

д-р техн. наук, Австрія
Dr. Sc., Prof., University of Natural Resources, Austria

Дайва Лєскаускайте
Daiva Leskauskaitė

д-р техн. наук, проф., Литва
Dr. Sc., Prof., Kaunas University of Technology, Lithuania

Кристина Сильва
Cristina L. M. Silva

д-р техн. наук, проф., Португалія
Dr.Sc., Prof., University de Catolica, Portuguesa

Лада Шірінян
Lada Shirinyan

д-р екон. наук, проф., Україна
Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Лариса Арсеньєва Larisa Arsenyeva	д-р техн. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Микола Костіков Mykola Kostikov	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D., As. 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
Оксана Скроцька Oksana Skrotska	канд. б. 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 Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Гавва Oleksandr Gavva	д-р техн. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олена Драган Olena Dragan	д-р екон. наук, проф., Україна Dr. Sc., 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
Ольга Петухова Olga Pietukhova	д-р екон. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Паола Піттія Paola Pittia	д-р техн. наук, проф., Італія Dr. Sc., Prof., University of Teramo, Italy
Світлана Бондаренко Svitlana Bondarenko	д-р хім. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Світлана Літвинчук Svitlana Litvynchuk	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 Dr. Sc., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Сергій Балута Sergii Baluta	д-р техн. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Сергій Грибков Sergii Hrybkov	д-р техн. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Хууб Лелієвельд Huub Lelieveld	д-р наук, проф., Нідерланди Dr. Sc., Prof., President of the Global Harmonization Initiatives, the Netherlands

Автоматизація та інформаційні технології	7	Automation and information technologies
<i>Новак М. С., Смітюх Я. В.</i> Автоматизація керування тепловим станом сталевих конструкцій будівель харчової промисловості на основі валідації модифікованих методів визначення теплових показників їхніх вогнезахисних покривів		<i>Novak M., Smityukh Y.</i> Automation of controlling the thermal state of steel structures of food industry buildings based on the validation of modified methods for determining the thermal performance of their fire protection coatings
<i>Залозний Р. В., Заєц Н. А.</i> Математичне моделювання процесів біофільтрації в аквапонних системах	25	<i>Zaloznyi R., Zaiets N.</i> Mathematical modeling of biofiltration processes in aquaponic systems
Біотехнології		Biotechnologies
<i>Красько М. О., Резніченко Ю. М., Красінко В. О.</i> Антагоністичні властивості дріжджових кілер-токсинів: біосинтез та практичне застосування	34	<i>Krasko M., Reznichenko Y., Krasinko V.</i> Antagonistic properties of yeast killer toxins: biosynthesis and practical applications
<i>Синявська Д. А., Грегірчак Н. М.</i> Біотехнологія виробництва інноваційного мультиштамового пробіотика з наночастинками селену: продуценти діючої речовини та техніко-економічне обґрунтування лікарського засобу	58	<i>Syniavska D., Hrehirchak N.</i> Biotechnology for the production of an innovative multistrain probiotic with selenium nanoparticles: active substance producers and feasibility study of the drug
<i>Воронцов О. О., Муренко К. М.</i> Біосинтез пробіотичних культур для виробництва ковбасних виробів	70	<i>Vorontsov O., Murenko K.</i> Biosynthesis of probiotic cultures for the production of sausage products
Економіка, менеджмент і маркетинг		Economy, Management and Marketing
<i>Бокій О. В.</i> Підходи до забезпечення продовольчої безпеки в умовах сучасних викликів	87	<i>Bokiy O.</i> Approaches to ensuring food security in the conditions of modern challenges
<i>Шеремет О. О., Шульган О. Л.</i> Інтеграція методик Synefin Framework та CARVER для прийняття рішень в умовах ризику	104	<i>Sheremet O., Shulgan O.</i> Integration of the Synefin Framework and carver methodologies in risk-based decision making
Механічна та електрична інженерія		Mechanical and Electrical Engineering
<i>Балиута С. М., Шестеренко В. С.</i> Інноваційний метод мінімізації коливань напруги в розосереджених системах електрозабезпечення	122	<i>Baliuta S., Shesterenko V.</i> An innovative method for minimizing voltage fluctuations in distributed power supply systems
Харчові технології		Food Technologies
<i>Шульга С. І., Шульга О. С.</i> Модифікація крохмалю хлорангідридом ацетилсаліцилової кислоти для потреб харчової промисловості та пакувальної індустрії	131	<i>Shulga S., Shulga O.</i> Starch modification with acetylsalicylic acid chlorohydrate for the food and packaging industry needs
<i>Іващенко О. М., Бреус Н. М.</i> Дослідження впливу гомогенізації молочних сумішей на формування фізико-хімічних показників йогурту з крохмалепродуктами	142	<i>Ivashchenko O., Breus N.</i> Research of the effect of homogenization of milk mixtures on the formation of physico-chemical indicators of yogurt with starch products

-
- Мороз І. А., Шемет В. Я., Дударев І. М., Гулай О. І.* Порівняння властивостей молока на рослинній основі з коров'ячим 152 *Moroz I., Shemet V., Dudarev I., Hulai O.* Comparison of properties of plant-based milk and cow's milk
- Пасичний В. М., Божко С. Б., Тищенко В. І., Божко Н. В.* Функціонально-технологічні властивості модельних фаршів крафтових напівкопчених ковбасок з м'ясом баранини і рослинними наповнювачами 164 *Pasichnyi V., Bozhko S., Tischenko V., Bozhko N.* Functional and technological properties of model minced meat of kraft semi-smoked sausages with lamb meat and plant proteins
- Сильчук Т. А., Дробот В. І., Зуйко В. І., Бортнічук О. В., Нечипорук А. Ю.* Підвищення харчової цінності хлібних паличок для закладів ресторанного господарства 174 *Sylchuk T., Drobot V., Zuyko V., Bortnichuk O., Nychporuk A.* Increasing the food value of bread sticks for restaurant establishments
- Лебеденко Т. Є., Кожевнікова В. О., Ткачук О. В., Євлаш В. В.* Виробництво борошняної продукції: значення і завдання в продовольчій безпеці українців, проблеми і виклики сьогодення та післявоєнної трансформації 183 *Lebedenko T., Kozhevnikova V., Tkachuk O., Yevlash V.* Manufacture of flour products: importance and goals for the food security of ukrainians; present problems and challenges and post-war transformation

УДК 004.9:614.841.45

AUTOMATION OF CONTROLLING THE THERMAL STATE OF STEEL STRUCTURES OF FOOD INDUSTRY BUILDINGS BASED ON THE VALIDATION OF MODIFIED METHODS FOR DETERMINING THE THERMAL PERFORMANCE OF THEIR FIRE PROTECTION COATINGS

M. Novak, Y. Smityukh

National University of Food Technologies

Key words:

*Automation
Validation
Fire protection coating
Control
Steel structure
Thermal performance
Thermal state
Food industry*

Article history:

Received 09.09.2024
Received in revised form
23.09.2024
Accepted 11.10.2024

Corresponding author:

Y. Smityukh
E-mail:
smityuh1@gmail.com

Citation: Новак М. С., Смітюх Я. В. (2024). Автоматизація керування тепловим станом сталевих конструкцій будівель харчової промисловості на основі валідації модифікованих методів визначення теплових показників їхніх вогнезахисних покривів. *Наукові праці НУХТ*, 30(5), 7–24.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-3

ABSTRACT

To determine the thermal performance of coatings intended for fire protection of steel structures in food industry buildings, it is relevant to develop and implement modified methods with a minimum number of test samples based on the experimental and calculation procedures given in EN 13381-4:2013 and EN 13381-8:2013.

The task of validating these modified methods as a task of automated control of the thermal state of steel structures under the influence of a standard temperature regime in accordance with EN 1363-1:2020 was formulated. The procedure for automated control of this thermal state was proposed, which allows determining the range of deviation of calculated from actual values of thermal performance of the coating and the optimal parameters in the applied calculation model, and is also acceptable for ensuring automation of experimental and calculation operations. According to this procedure, the values of the coating thickness on each sample were determined, at which, under the influence of the standard temperature regime, the conditions for compliance with the experimental and specified values of the time intervals until the critical steel temperature is reached on the samples are met, and also determine the range of deviation of the calculated from the actual values of the thermal parameters of the coating.

The tasks that need to be solved for further practical implementation of the proposed control procedure were outlined. They relate to the creation of algorithmic and software, justification of the value or procedure for determining the permissible deviation of the time interval until the critical steel temperature is reached, and verification of the control procedure with the created software through the use of simulation and natural experimentation methods.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-3

**АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ТЕПЛОВИМ СТАНОМ
СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ ХАРЧОВОЇ
ПРОМИСЛОВОСТІ НА ОСНОВІ ВАЛІДАЦІЇ
МОДИФІКОВАНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ
ПОКАЗНИКІВ ЇХНІХ ВОГНЕЗАХИСНИХ ПОКРИВІВ**

М. С. Новак, Я. В. Смітюх

Національний університет харчових технологій

Для визначення теплових показників покривів, призначених для вогнезахисту сталевих конструкцій будівель харчової промисловості, актуальними є розробка і впровадження модифікованих методів з мінімальною кількістю випробних зразків, які засновано на експериментальних і розрахункових процедурах, наведених в EN 13381-4:2013 і EN 13381-8:2013.

У статті сформульовано задачу валідації цих модифікованих методів як задачу автоматизованого керування тепловим станом сталевих конструкцій в умовах впливу стандартного температурного режиму згідно з EN 1363-1:2020. Запропоновано процедуру автоматизованого керування цим тепловим станом, яка дає змогу визначати діапазон відхилу розрахункових від дійсних значень теплових показників покриву й оптимальні параметри у застосовній розрахунковій моделі, а також є прийнятною для забезпечення автоматизації експериментальних і розрахункових операцій. Ця процедура містить етапи створення зразків сталевих конструкцій (колон) з покривом певної товщини, ідентифікації теплового стану зразків в умовах впливу стандартного температурного режиму, визначення дійсних і розрахункових значень теплових показників покриву і їхнього відхилу, мінімізації цього відхилу і визначення оптимальних параметрів застосованої розрахункової моделі. За цією процедурою визначають значення товщини покриву на кожному зразку, за яких при впливі стандартного температурного режиму виконуються умови щодо відповідності експериментальних і заданих значень проміжків часу до досягнення на зразках критичної температури сталі, а також діапазон відхилу розрахункових від дійсних значень теплових показників покриву.

Викладено задачі, які треба вирішити для подальшої практичної реалізації запропонованої процедури керування. Вони стосуються створення алгоритмічного та програмного забезпечення, обґрунтування значення або процедури визначення допустимого відхилу проміжку часу до досягнення критичної температури сталі, верифікації процедури керування зі створеним програмним забезпеченням через застосування методів імітаційного та натурального експериментів.

Ключові слова: *автоматизація, валідація, вогнезахисний покрив, керування, сталева конструкція, тепловий показник, тепловий стан, харчова промисловість.*

Постановка проблеми. *Для забезпечення умов, прийнятних для виробництва і зберігання продуктів харчування, крім існуючих вимог до параметрів навколишнього середовища в приміщеннях, висувуються вимоги щодо забезпечення безпечності цих процесів в умовах впливу на конструкції будівель харчової про-*

мисловості (колон, балок, стін, перекриттів) високих температур, пов'язаних з пожежами, які подано в ДБН В.1.1-7:2016, ДБН В.2.2-42:2021 і ДБН В.2.2-43:2021. Під час вогневого впливу ці конструкції можуть втратити свою несучу здатність, що призводить до їхнього руйнування і обвалення, а також до припинення процесу виробництва продуктів харчування або до втрати харчової продукції, яка зберігається. Умовою збереженості несучої здатності цих конструкцій є обмеження підвищення температури металеві поверхні (для сталевих будівельних конструкцій) або сталеві арматури (для залізобетонних будівельних конструкцій) під час вогневого впливу. Згідно з EN 1992-1-2:2023 і EN 1993-1-2:2024 значення цієї температури не повинно перевищувати критичної температури сталі. Для виконання цієї умови на зовнішню поверхню конструкцій наносять спеціальний вогнезахисний покрив (далі — покрив), виготовлений зі штукатурки, фарби, лаку, плит або матів, що повинен мати певну проектну товщину, за якої під час вогневого впливу ці конструкції зберігають свою несучу здатність. Визначення цієї проектної товщини здійснюють за даними щодо теплових показників покриття, які мають бути відомі для кожного покриття конкретного типу.

Для сталевих конструкцій (колон і балок) ці теплові показники встановлюють нормативні значення мінімальної товщини покриття d_p на їхній металевій поверхні, необхідні для забезпечення збереженості несучої здатності цих конструкцій протягом певних нормованих проміжків часу $t_{fr,requ}$ впливу стандартного температурного режиму, регламентованого в EN 1363-1:2020. Дані щодо теплових показників покриття для цих конструкцій подають у табличній формі згідно з EN 13381-4:2013 або EN 13381-8:2013. У цих таблицях наводять значення мінімальної товщини покриття d_p , визначені для широких діапазонів коефіцієнта поперечного перерізу сталеві конструкції A_m/V (від 40 м^{-1} до 300 м^{-1} , з кроком 10 м^{-1}), критичної температури θ_{cr} (від $350 \text{ }^\circ\text{C}$ до $700 \text{ }^\circ\text{C}$, з кроком $50 \text{ }^\circ\text{C}$) і нормованого проміжку часу $t_{fr,requ}$ (від 15 хв до 360 хв, з кроком від 15 хв до 120 хв). Загальна кількість значень мінімальної товщини покриття, поданих в таких таблицях, є значною і відповідно до EN 13381-4:2013, EN 13381-8:2013 і EN 13501-2:2016 може досягати 1728. Для сталевих конструкцій, які мають певні значення показників A_m/V і θ_{cr} , за даними, наведеними в цих таблицях, визначають проектну товщину покриття конкретного типу, і в заводських умовах або на об'єкті будівництва створюють цей вогнезахисний покрив, наприклад, методом розпилювання, що забезпечує збереженість несучої здатності конструкцій під час вогневого впливу.

Методи визначення теплових показників покриттів, призначених для сталевих конструкцій, наведено в EN 13381-4:2013 і EN 13381-8:2013. У цих стандартах подано експериментальні і розрахункові процедури, необхідні для визначення теплових показників покриттів, призначених для конструкцій, які мають широкий діапазон нормованого проміжку часу $t_{fr,requ}$ (від 15 хв до 360 хв). Ці методи не потребують виконання складних розрахунків із застосуванням спеціально створеного для них програмного забезпечення, що є прийнятним для їхнього практичного застосування. Розрахунки можуть виконуватися, наприклад, із застосуванням програми для роботи з електронними таблицями Microsoft Excel. Однак ці методи вимагають суттєвих витрат на створення значної кількості (до кількох десятків) великогабаритних зразків конструкцій і проведення їх випробувань у вогневих печах, що не завжди можливо реалізувати.

Для сталевих конструкцій будівель харчової промисловості, відповідно до ДБН В.1.1-7:2016, ДБН В.2.2-42:2021 і ДБН В.2.2-43:2021, діапазон нормованого проміжку часу $t_{fr,requ}$ збереженості їхньої несучої здатності становить від 30 хв до 150 хв і є значно менший діапазону, який встановлено в EN 13381-4:2013 і EN 13381-8:2013. Через це кількість значень мінімальної товщини покриття d_p , які необхідно визначати для цих конструкцій і наводити в табличній формі, є значно меншою порівняно зі стандартними методами, наведеними в EN 13381-4:2013 і EN 13381-8:2013, що обумовлює можливість зменшення кількості випробних зразків у методах визначення теплових показників покриттів, призначених для сталевих конструкцій будівель харчової промисловості.

З огляду на цю особливість і необхідність зменшення витрат на випробування й отримування достовірних результатів для визначення теплових показників покриттів, призначених для сталевих конструкцій будівель харчової промисловості, можливо можна застосовувати модифіковані методи з мінімально допустимою кількістю випробних зразків конструкцій і розрахункові процедури, наведені в EN 13381-4:2013 і EN 13381-8:2013. Однак для підтвердження цього припущення необхідно здійснити валідацію цих модифікованих методів для виявлення ступеня, за якого визначені за ними результати наближені до дійсних теплових показників покриття. Задачу валідації цих модифікованих методів доцільно розглядати як задачу автоматизованого керування тепловим станом сталевих конструкцій в умовах впливу стандартного температурного режиму. Процедура цього керування має забезпечувати автоматизацію процесів ідентифікації теплового стану сталевих конструкцій в умовах впливу стандартного температурного режиму згідно з EN 1363-1:2020 та валідації модифікованих методів, що сприятиме підвищенню достовірності (об'єктивності) отримуваних результатів, а також визначати діапазон відхилю розрахункових від дійсних значень теплових показників покриттів і оптимальні параметри у застосованих розрахункових моделях. Недостатня визначеність такої процедури автоматизованого керування тепловим станом сталевих конструкцій для зазначених модифікованих методів обумовлює актуальність проведення досліджень у цьому напрямі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із найбільш поширених способів валідації методів визначення фізичних величин, як зазначено в праці (Archambeault, & Connor, 2008), є валідація з використанням результатів, отриманих експериментальним шляхом. Під час застосування цього способу показники, визначені за методом, який валідують, порівнюють з результатами валідаційного експерименту. Проте застосування цього способу є проблематичним у разі, якщо прогноз визначальних показників неможливо здійснити в контрольованому середовищі, тому в праці (Paquette-Rufiange, Prudhomme, & Laforest, 2023) розглянуті питання, які стосуються планування валідаційних експериментів за такої ситуації.

Саме така ситуація, як показано в праці (Круковський, Новак, Поклонський, Єременко, & Фролов, 2021), характерна для валідаційних експериментів, призначених для методів визначення теплових показників покриттів сталевих конструкцій. Визначальним показником для цих методів є мінімальна товщина покриття, за якої температура металевої поверхні не перевищує критичної температури протягом нормованого проміжку часу збереженості несучої здатності конструкції в

умовах теплового впливу за стандартного температурного режиму. Однак визначити цей показник безпосередньо у валідаційному експерименті неможливо.

Для подолання цієї проблеми в праці (Новак, & Харкянен, 2024) запропоновано як валідаційний експеримент для методів визначення теплових показників покривів застосовувати експеримент, який полягає у вимірюванні в різні проміжки часу теплового впливу температури металевої поверхні зразків сталевих конструкцій, оснащених вогнезахисним покривом, а визначення значень необхідної мінімальної товщини покриву здійснювати за отриманими експериментальними даними розрахунковим шляхом із застосуванням математичних моделей. Слід зазначити, що недоліком процедури валідації, наведеної у цій праці, є наявність лише порівняння розрахункових значень необхідної мінімальної товщини покриву з дійсними (умовно точними) величинами і відсутність додаткового (контрольного) експерименту для оцінювання відповідності розрахункових значень проміжку часу до досягнення критичної температури нормованим проміжкам часу збереженості несучої здатності конструкції.

Під час проведення таких валідаційних експериментів необхідно здійснювати нормований тепловий вплив на зовнішню поверхню покриву зразків сталевих конструкцій, встановлених у спеціальних камерних печах, розрахованих на споживання рідкого або газоподібного пального, які відповідають вимогам щодо забезпечення протягом експерименту стандартного температурного режиму — номінального підвищення середньої температури газового середовища в печі від кімнатної до 945 °C (для тривалості 60 хв) і більше за логарифмічним законом згідно з EN 1363-1:2020. При цьому вважається (Keltner, Nash, Beitel, Parker, Welsh, & Gilda, 2003), що тепловий вплив на зовнішню (обігрівну) поверхню конструкції є відтворюваним і може бути оцінений за значенням вимірної температури в печі.

У працях (Sultan, Séguin, Latour, Leroux, & Henrie, 2006; Bula, Boiko, Lysyuk, Kurtyak, & Fall, 2014; Chaturvedi, Vedrtam, Youssef, Palou, Barluenga, & Kalauni, 2023) наведено описи конструкції печей, призначених для визначення теплового стану будівельних конструкцій в умовах впливу стандартного температурного режиму згідно з EN 1363-1:2020. У них, зокрема, висвітлено дані щодо типів і розмірів цих печей, кількості й місць розташування пальників, обладнання для подавання пального і регулювання його витратою.

У праці (Pozdieiev, Nizhnyk, Feshchuk, Nekora, Nuianzin, & Shnal, 2021) шляхом комп'ютерного моделювання процесів тепло- та масообміну в печі із використанням програмного комплексу FlowVision 2.5 досліджено вплив конструктивних і експлуатаційних параметрів печі на її температурний режим. Результати цього дослідження дають змогу визначати прогнозні значення параметрів подавання пального і повітря в пальники печі, які забезпечують створення стандартного температурного режиму в печі згідно з EN 1363-1:2020.

У праці (Oktiawati, Alfata, Fahmizal, Rahayu, Ridwan, Kusuma, & Vidia, 2021) запропоновано систему автоматичного моніторингу температури в печі й температури зразків конструкцій, встановлених в ній, яка складається з апаратного і програмного забезпечення з використанням мікропроцесорної платформи з відкритим вихідним кодом Arduino. Ця система забезпечує перетворення аналогового сигналу термопар у цифровий, розрахунок середньої температури в печі й

відхилу фактичного температурного режиму в ній від номінального (стандартного), графічне відображення на моніторі й збереженість отриманих даних у форматі Excel (.xls). Слід зазначити, що цю систему моніторингу, завдяки використанню в ній платформи Arduino, може бути застосовано як елемент автоматизованої системи керування температурним режимом в печі згідно з EN 1363-1:2020. Приклад автоматизованої системи керування піччю для термічного оброблення сталі із застосуванням платформи Arduino наведено в (Zambaldi, Magalhaes, Barbosa, Silva, & Ferreira, 2017).

У праці (Mentsiev, & Mutaev, 2020) обговорюються існуючі системи і сучасні технології керування тепловими процесами в печах. Серед них певну зацікавленість викликає технологія цифрового двійника, що представляє фізичну піч, яка вимагає точного відображення всіх фізичних компонентів печі у комп'ютері. Цифровий двійник розглядається як новий вдосконалений крок у технології керування завдяки можливості еволюції фізичних систем у більш складні об'єкти шляхом додавання програмних функцій у деякі частини, наприклад, приводи та перетворювачі, та забезпечення зв'язку через кібер-фізичні системи. Стосовно сучасних систем керування тепловим режимом у печах, призначених для визначення теплового стану будівельних конструкцій за умов впливу стандартного температурного режиму згідно з EN 1363-1:2020, то це питання розглянуто в (Chaturvedi, Vedrtanam, Youssef, Palou, Barluenga, & Kalauni, 2023). У цій праці показано, що зазначені системи містять програмований логічний контролер, який має вбудований інтерфейс оператора, і забезпечують роботу печі як в автоматичному, так і в ручному режимах керування.

Підсумовуючи, варто зазначити, що існуючі системи керування і моніторингу забезпечують нормований тепловий вплив на будівельні конструкції, встановлені в печах, як в автоматичному, так і в ручному режимах керування, а також автоматизоване визначення їхнього теплового стану в умовах впливу стандартного температурного режиму згідно з EN 1363-1:2020. Є потреба в розробці процедури, придатної для визначення значень товщини покриття на зразках сталевих конструкцій, за яких в умовах впливу стандартного температурного режиму фактичний тепловий стан цих зразків відповідає нормованому. Перспективним у цій розробці є здійснення автоматизації процесу керування тепловим станом зразків сталевих конструкцій в умовах впливу стандартного температурного режиму на основі застосування процедури валідації методів визначення теплових показників їхніх вогнезахисних покриттів.

Мета дослідження: розробка процедури автоматизованого керування тепловим станом сталевих конструкцій будівель харчової промисловості в умовах впливу стандартного температурного режиму згідно з EN 1363-1:2020 на основі валідації модифікованих методів визначення теплових показників їхніх покриттів, яка дає змогу визначати діапазон відхилу розрахункових від дійсних значень цих показників і оптимальні параметри в розрахункових моделях, а також забезпечує автоматизацію експериментальних і розрахункових операцій.

Матеріали і методи. Застосовано метод дослідження, складовими якого є аналізування, порівняння, узагальнення. Основні матеріали для дослідження — наукові публікації зарубіжних і вітчизняних учених у провідних періодичних і спеціалізованих світових виданнях, що стосуються автоматизації керування тепловими

процесами і виконання розрахункових процедур, а також валідації методів оцінювання визначальних показників у фізичних системах.

Викладення основних результатів дослідження. Для визначення теплових показників покривів, призначених для сталевих конструкцій будівель харчової промисловості, за зменшеними (порівняно з EN 13381-4:2013 і EN 13381-8:2013) витратами на створення і проведення випробувань зразків конструкцій (колон і балок), доцільно застосовувати методи, модифіковані методам, наведеним в EN 13381-4:2013 і EN 13381-8:2013. Слід зазначити, що методи, подані в EN 13381-4:2013, призначені для визначення теплових показників покривів сталевих конструкцій, створених із пасивних вогнезахисних матеріалів (штукатурок, плит або матів), а методи, подані в EN 13381-8:2013, — для покривів із реактивних вогнезахисних матеріалів (фарб, лаків). Наведена в цих європейських стандартах процедура визначення теплових показників покривів містить експериментальну і розрахункову складові. Під час випробування за цими стандартами здійснюють ідентифікацію теплового стану зразків сталевих конструкцій з покривом в умовах впливу стандартного температурного режиму згідно з EN 1363-1:2020. За отриманими експериментальними даними щодо температури цих зразків у різні проміжки часу теплового впливу ($\theta_{a,1}(t)$, $\theta_{a,2}(t)$, ..., $\theta_{a,n}(t)$, де n — кількість зразків) розраховують значення мінімальної товщини покриву d_p на їхній металевій поверхні, необхідні для забезпечення збереженості несучої здатності цих конструкцій протягом певних нормованих проміжків часу $t_{fr,requ}$ і подають їх у табличній формі згідно з EN 13381-4:2013 або EN 13381-8:2013. Для розрахунку товщини покриву d_p , як в EN 13381-4:2013, так і в EN 13381-8:2013, використовують один з трьох альтернативних методів. Два із них засновано за застосуванні алгебраїчного рівняння (формули) теплопровідності за явною схемою кінцево-різницевої апроксимації. В одному з цих методів коефіцієнт теплопровідності покриву вважають незалежним від температури, в іншому — залежним від неї. Третій альтернативний метод засновано на використанні рівняння лінійної регресії.

Зазначену стандартизовану процедуру, включаючи ці три альтернативи розрахункові методи (через нескладність їхнього практичного застосування), є доцільним застосувати як основу для модифікованих методів визначення теплових показників покривів, призначених для сталевих конструкцій будівель харчової промисловості, з такими відмінностями.

В експериментальній частині процедури для модифікованих методів слід зменшити кількість випробних зразків до чотирьох, а в їх розрахункових моделях слід застосовувати оптимальні параметри, які відповідають мінімальному відхилу розрахункових значень теплових показників покривів від дійсних величин. Значення цих оптимальних параметрів необхідно визначити шляхом калібрування розрахункових моделей під час валідації цих модифікованих методів.

Задачу валідації модифікованих методів визначення теплових показників покривів, призначених для сталевих конструкцій будівель харчової промисловості, сформулюємо як задачу автоматизованого керування тепловим станом цих конструкцій в умовах впливу стандартного температурного режиму згідно з EN 1363-1:2020 таким чином: об'єкт керування — чотири зразки конструкцій (колон) зі сталі однієї марки заввишки 1,0 м, які мають різні значення товщини покриву ($d_{p,1}$, $d_{p,2}$, $d_{p,3}$, $d_{p,4}$), виконаного з вогнезахисного матеріалу одного типу, і певні значення

коефіцієнта поперечного перерізу (співвідношення між площею зовнішньої поверхні A_m , що піддається тепловому впливу, сталевій конструкції без урахування покриття та об'ємом поперечного перерізу V): $(A_m/V)_{min} = 40 \text{ м}^{-1}$ — для зразків 1 і 2, $(A_m/V)_{max} = 300 \text{ м}^{-1}$ — для зразків 3 і 4 (рис. 1). Його можна віднести до об'єктів з однією регульованою величиною і однією управляючою (регулюючою) величиною (параметром) з одним зовнішнім впливом.

Регульована (вихідна) величина (параметр) Y об'єкта керування — проміжки часу $t_{fr,1}$ і $t_{fr,2}$ до досягнення критичної температури $700 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\theta_{cr,max}$) на зразках 1 і 2 та $t_{fr,3}$ і $t_{fr,4}$ до досягнення критичної температури $350 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\theta_{cr,min}$) на зразках 3 і 4 в умовах впливу стандартного температурного режиму $\theta_s(t)$.

Задане значення регульованої величини Y_{set} об'єкта керування — нормовані проміжки часу $t_{fr,requ,1} = 30 \text{ хв}$ ($t_{fr,requ,min}$) і $t_{fr,requ,2} = 150 \text{ хв}$ ($t_{fr,requ,max}$) до досягнення критичної температури $700 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\theta_{cr,max}$) на зразках 1 і 2 та $t_{fr,requ,3} = 30 \text{ хв}$ і $t_{fr,requ,4} = 150 \text{ хв}$ до досягнення критичної температури $350 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\theta_{cr,min}$) на зразках 3 і 4 в умовах впливу стандартного температурного режиму $\theta_s(t)$ (рис. 2).

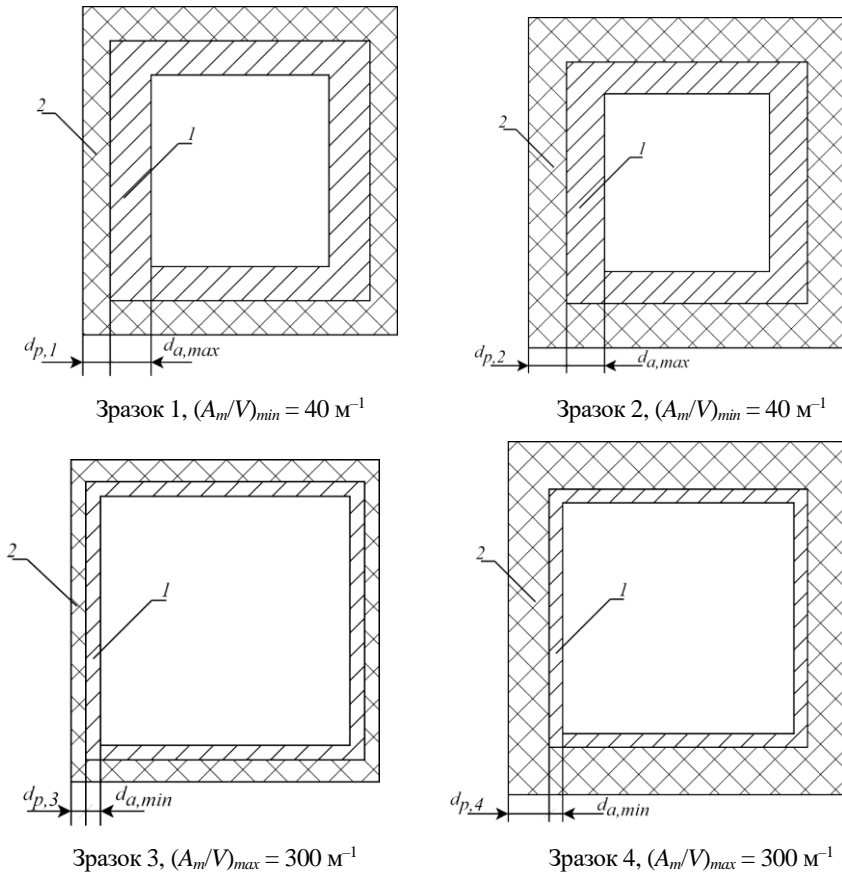


Рис. 1. Конструкція зразків сталевих конструкцій (поперечний переріз):

1 — сталеві стінки з мінімальною або максимальною товщиною ($d_{a,min} = 1/(A_m/V)_{max} = 3,33 \text{ мм}$; $d_{a,max} = 1/(A_m/V)_{min} = 25,0 \text{ мм}$); 2 — покриття

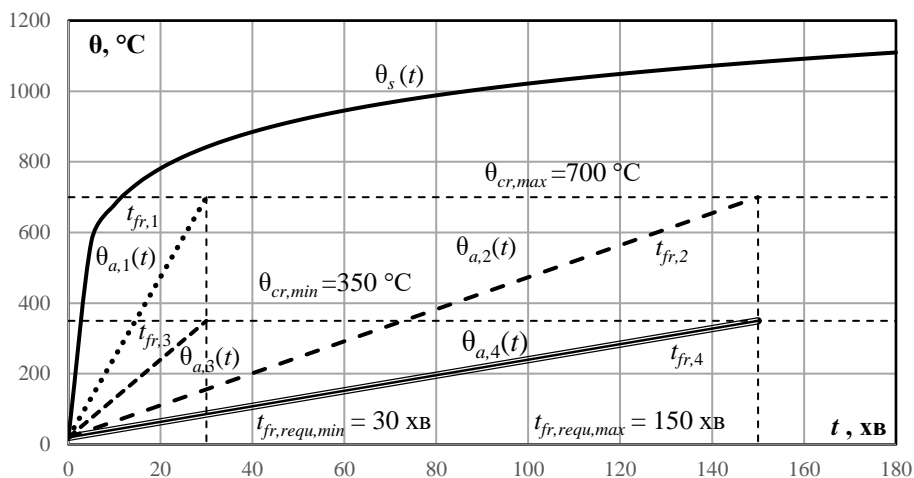


Рис. 2. Залежності температури зразків від проміжку часу впливу стандартного температурного режиму $\theta_s(t)$ для заданого значення регульованої величини Y_{set} об'єкта керування

Вхідна величина (управляючий параметр) X об'єкта керування — товщина покриття $d_{p,1}, d_{p,2}, d_{p,3}, d_{p,4}$ на зазначених вище чотирьох зразках конструкцій.

Зовнішній вплив — нормований тепловий вплив (тепловий потік) на зовнішню поверхню об'єкта керування, інтенсивність якого визначається номінальною (стандартною) температурою в печі $\theta_s(t)$.

Схему процесу керування наведено на рис. 3. Для здійснення автоматизованого керування застосовують інтелектуальну систему керування, призначену для визначення значення управляючого параметра X об'єкта керування (товщини покриття $d_{p,1}, d_{p,2}, d_{p,3}, d_{p,4}$), яке забезпечує максимальне наближення регульованого параметра Y (проміжків часу $t_{fr,1}, t_{fr,2}, t_{fr,3}, t_{fr,4}$) до його заданого значення Y_{set} (нормованих проміжків часу $t_{fr,requ,1}, t_{fr,requ,2}, t_{fr,requ,3}, t_{fr,requ,4}$). Ця система містить розрахункову модель з рівняннями (теплопровідності або регресії, залежно від застосованого розрахункового методу), яке встановлює взаємозв'язок між регульованою (вихідною) величиною об'єкта керування і його вхідною величиною (управляючим параметром).

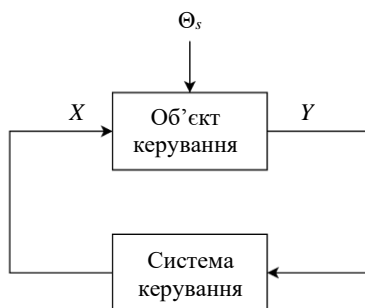


Рис. 3. Схеми керування тепловим станом сталевих конструкцій в умовах впливу стандартного температурного режиму

Принцип запропонованого процесу керування полягає в тому, що створюють об'єкт керування — чотири зразки сталевих конструкцій (рис. 1), які мають задані мінімальне (для зразків 1, 3) і максимальне (для зразків 2, 4) значення товщини покриття ($d_{p,1,min}$, $d_{p,2,max}$, $d_{p,3,min}$, $d_{p,4,max}$). Задавання таких значень товщини покриття обумовлене розрахунковими процедурами, поданими в трьох альтернативних методах згідно з EN 13381-4:2013 і EN 13381-8:2013. Ці значення товщини задають, зважаючи на наявну інформацію щодо здатності покриття забезпечувати належні умови експлуатації, зокрема його зчеплення з металевою поверхнею, та (або) прогнозних апріорних даних щодо залежності теплового стану сталеві конструкції від товщини покриття. Створення цих покриттів здійснюють автоматизовано, використовуючи обладнання, призначене для нанесення матеріалів методом розпилювання. Витрату будівельного розчину через розпилювачі регулюють таким чином, щоб забезпечити відповідність фактичної товщини покриття на зразках заданим значенням. Стосовно автоматизації, то задані значення товщини покриття забезпечуються шляхом використання у зазначеному обладнанні програмних пристроїв, які надають необхідну тривалість подавання будівельного розчину через розпилювачі. Dürr Systems Karlstein GmbH та AIN розробили таке обладнання під час виконання проєкту STEELPROST DEMO, який фінансувався Комісією Європейських Співтовариств в рамках 7-ї рамкової програми. Створення покриттів на металевій поверхні конструкцій може здійснюватись іншим способом залежно від типу вогнезахисного матеріалу, застосовного для їхнього нанесення.

Створений об'єкт керування піддають зовнішньому тепловому впливу за стандартного температурного режиму в печі $\theta_s(t)$ (рис. 2) і визначають його поточне (проміжне) значення регульованого параметра — проміжки часу до досягнення критичної температури на чотирьох зразках. Це проміжне значення порівнюють із заданою величиною регульованого параметра та із застосуванням розрахункової моделі визначають кориговане значення управляючого параметра об'єкта керування — товщини покриття $d_{p,1}$, $d_{p,2}$, $d_{p,3}$, $d_{p,4}$ на чотирьох зразках. Створюють нові покриття на чотирьох зразках завтовшки $d_{p,1}$, $d_{p,2}$, $d_{p,3}$, $d_{p,4}$ (замість $d_{p,1,min}$, $d_{p,2,max}$, $d_{p,3,min}$, $d_{p,4,max}$). Ці зразки піддають зовнішньому тепловому впливу за стандартного температурного режиму і визначають їхні проміжки часу до досягнення критичної температури. Отримані значення проміжків часу порівнюють із заданими. Керування завершують, якщо різниця між цими проміжками часу не перевищує заданої величини.

Автоматизація зазначеного процесу керування здійснюється шляхом:

- застосування обладнання, яке забезпечує автоматизоване нанесення вогнезахисного матеріалу (будівельного розчину) методом розпилювання і створення на поверхні об'єкту керування покриттів заданої товщини;

- застосування обладнання, яке забезпечує нормований тепловий вплив на зовнішню поверхню об'єкту керування, який встановлено в піч, шляхом автоматизованого створення стандартного температурного режиму в печі згідно з умовами, поданими в EN 1363-1:2020;

- застосування обладнання, яке забезпечує автоматизоване вимірювання температури об'єкту керування із застосуванням термоелектричних перетворювачів (термопар), аналого-цифрових перетворювачів і програмного забезпечення;

- виконання розрахункових операцій із найменшим залученням оператора шляхом максимальної автоматизації процесів вводу, виводу і передавання інформації в програмному забезпеченні.

Сутність процесу керування тепловим станом сталевих конструкцій будівель харчової промисловості в умовах впливу стандартного температурного режиму полягає в:

- експериментальному визначенні регульованої (вихідної) величини (проміжків часу $t_{fr,1}, t_{fr,2}, t_{fr,3}, t_{fr,4}$) за заданого значення вхідної величини (управляючого параметра) об'єкта керування (товщини покриття $d_{p,1,min}, d_{p,2,max}, d_{p,3,min}, d_{p,4,max}$), в умовах впливу стандартного температурного режиму;

- розрахунковому визначенні системою керування коригованого значення управляючого параметра ($d_{p,1}, d_{p,2}, d_{p,3}, d_{p,4}$), яке забезпечує максимальне наближення регульованого параметра ($t_{fr,1}, t_{fr,2}, t_{fr,3}, t_{fr,4}$) до його заданого значення ($t_{fr,requ,1}, t_{fr,requ,2}, t_{fr,requ,3}, t_{fr,requ,4}$);

- експериментальному визначенні поточного (проміжного) значення регульованої (вихідної) величини ($t_{fr,1}, t_{fr,2}, t_{fr,3}, t_{fr,4}$) за коригованого значення вхідної величини (управляючого параметру) об'єкта керування ($d_{p,1}, d_{p,2}, d_{p,3}, d_{p,4}$), в умовах впливу стандартного температурного режиму;

- розрахунку відхилу між поточним і заданим значеннями регульованої величини і перевіряння його відповідності допустимому значенню.

Під час керування тепловим станом сталевих конструкцій необхідно визначати значення товщини покриття на кожному зразку $d_{p,1}, d_{p,2}, d_{p,3}, d_{p,4}$, за яких при впливі стандартного температурного режиму виконуються такі умови (рис. 2):

- проміжок часу $t_{fr,1}$ до досягнення температури 700 °С, яка відповідає максимальному значенню критичної температури $\theta_{cr,max}$, на зразку 1 дорівнює мінімальному нормованому проміжку часу збереженості несучої здатності сталевій конструкції $t_{fr,requ,min} = 30$ хв;

- проміжок часу $t_{fr,2}$ до досягнення температури 700 °С, яка відповідає максимальному значенню критичної температури $\theta_{cr,max}$, на зразку 2 дорівнює максимальному нормованому проміжку часу збереженості несучої здатності сталевій конструкції $t_{fr,requ,max} = 150$ хв;

- проміжок часу $t_{fr,3}$ до досягнення температури 350 °С, яка відповідає мінімальному значенню критичної температури $\theta_{cr,min}$, на зразку 3 дорівнює мінімальному нормованому проміжку часу збереженості несучої здатності сталевій конструкції $t_{fr,requ,min} = 30$ хв;

- проміжок часу $t_{fr,4}$ до досягнення температури 350 °С, яка відповідає мінімальному значенню критичної температури $\theta_{cr,min}$, на зразку 4 дорівнює максимальному нормованому проміжку часу збереженості несучої здатності сталевій конструкції $t_{fr,requ,max} = 150$ хв.

З урахування невизначеності (похибки) вимірювання проміжків часу $t_{fr,1}, t_{fr,2}, t_{fr,3}, t_{fr,4}$, зазначені вище умови можна подати таким чином:

$$\delta_{t,1} \leq \delta_{t,permis}; \tag{1}$$

$$\delta_{t,2} \leq \delta_{t,permis}; \tag{2}$$

$$\delta_{t,3} \leq \delta_{t,permis}; \quad (3)$$

$$\delta_{t,4} \leq \delta_{t,permis}; \quad (4)$$

де $\delta_{t,permis}$ — допустимий відхил проміжку часу до досягнення критичної температури, %; $\delta_{t,1}, \delta_{t,2}, \delta_{t,3}, \delta_{t,4}$ — відхили проміжків часу $t_{fr,1}, t_{fr,2}, t_{fr,3}, t_{fr,4}$ від нормованих (заданих) проміжків часу $t_{fr,requ,1}, t_{fr,requ,2}, t_{fr,requ,3}, t_{fr,requ,4}$ збереженості несучої здатності сталевій конструкції, %, які розраховують за такими формулами:

$$\delta_{t,1} = 100(t_{fr,1} - t_{fr,requ,min}) / t_{fr,requ,min}; \quad (5)$$

$$\delta_{t,2} = 100(t_{fr,2} - t_{fr,requ,max}) / t_{fr,requ,max}; \quad (6)$$

$$\delta_{t,3} = 100(t_{fr,3} - t_{fr,requ,min}) / t_{fr,requ,min}; \quad (7)$$

$$\delta_{t,4} = 100(t_{fr,4} - t_{fr,requ,max}) / t_{fr,requ,max}. \quad (8)$$

З урахуванням вищезазначеного, сутність процедури керування тепловим станом сталевих конструкцій будівель харчової промисловості на основі валідації модифікованих методів визначення теплових показників їхніх покривів полягає в:

- експериментальному визначенні проміжків часу $t_{fr,1}, t_{fr,2}, t_{fr,3}, t_{fr,4}$ до досягнення критичних температур 350 °C і 700 °C на чотирьох зразках конструкцій, які мають різну комбінацію значень товщини покриву ($d_{p,min}, d_{p,max}$) і коефіцієнта поперечного перерізу ($(A_m/V)_{min} = 40 \text{ м}^{-1}, (A_m/V)_{max} = 300 \text{ м}^{-1}$), в умовах впливу на них стандартного температурного режиму;

- розрахунку відсоткових відхилів $\delta_{t,1}, \delta_{t,2}, \delta_{t,3}, \delta_{t,4}$ цих проміжків часу $t_{fr,1}, t_{fr,2}, t_{fr,3}, t_{fr,4}$ від нормованих проміжків часу збереженості несучої здатності сталевій конструкції ($t_{fr,requ,min} = 30 \text{ хв}, t_{fr,requ,max} = 150 \text{ хв}$) і перевірянні відповідності цих відхилів критерію прийнятності (допустимому значенню $\delta_{t,permis}$);

- розрахунку за модифікованим методом коригованих значень товщини покриву $d_{p,calc,1}, d_{p,calc,2}, d_{p,calc,3}, d_{p,calc,4}$ на зазначених вище чотирьох зразках конструкцій з різним коефіцієнтом поперечного перерізу ($(A_m/V)_{min} = 40 \text{ м}^{-1}, (A_m/V)_{max} = 300 \text{ м}^{-1}$), які максимально наближені до дійсних значень мінімальної товщини покриву $d_{p,ac,1}, d_{p,ac,2}, d_{p,ac,3}, d_{p,ac,4}$, за якими для проміжків часу 30 хв і 150 хв досягаються критичні температури 350 °C і 700 °C;

- експериментальному визначенні проміжків часу $t_{fr,1}, t_{fr,2}, t_{fr,3}, t_{fr,4}$ до досягнення критичних температур 350 °C і 700 °C на зазначених вище чотирьох зразках конструкцій, які мають кориговані значення товщини покриву $d_{p,calc,1}, d_{p,calc,2}, d_{p,calc,3}, d_{p,calc,4}$, і перевірянні відповідності їхніх відхилів $\delta_{t,1}, \delta_{t,2}, \delta_{t,3}, \delta_{t,4}$ від нормованих проміжків часу збереженості несучої здатності сталевій конструкції критерію прийнятності (допустимому значенню $\delta_{t,permis}$).

За отриманими результатами визначають діапазон відхилу розрахункових від дійсних значень теплових показників покриву [$\delta_{d,min}, \delta_{d,max}$] і оптимальні параметри розрахункової моделі в модифікованому методі, які відповідають критерію прийнятності.

На рис. 4 подано схематичне зображення процедури керування тепловим станом сталевих конструкцій будівель харчової промисловості на основі валідації модифікованих методів визначення теплових показників їхніх покривів.

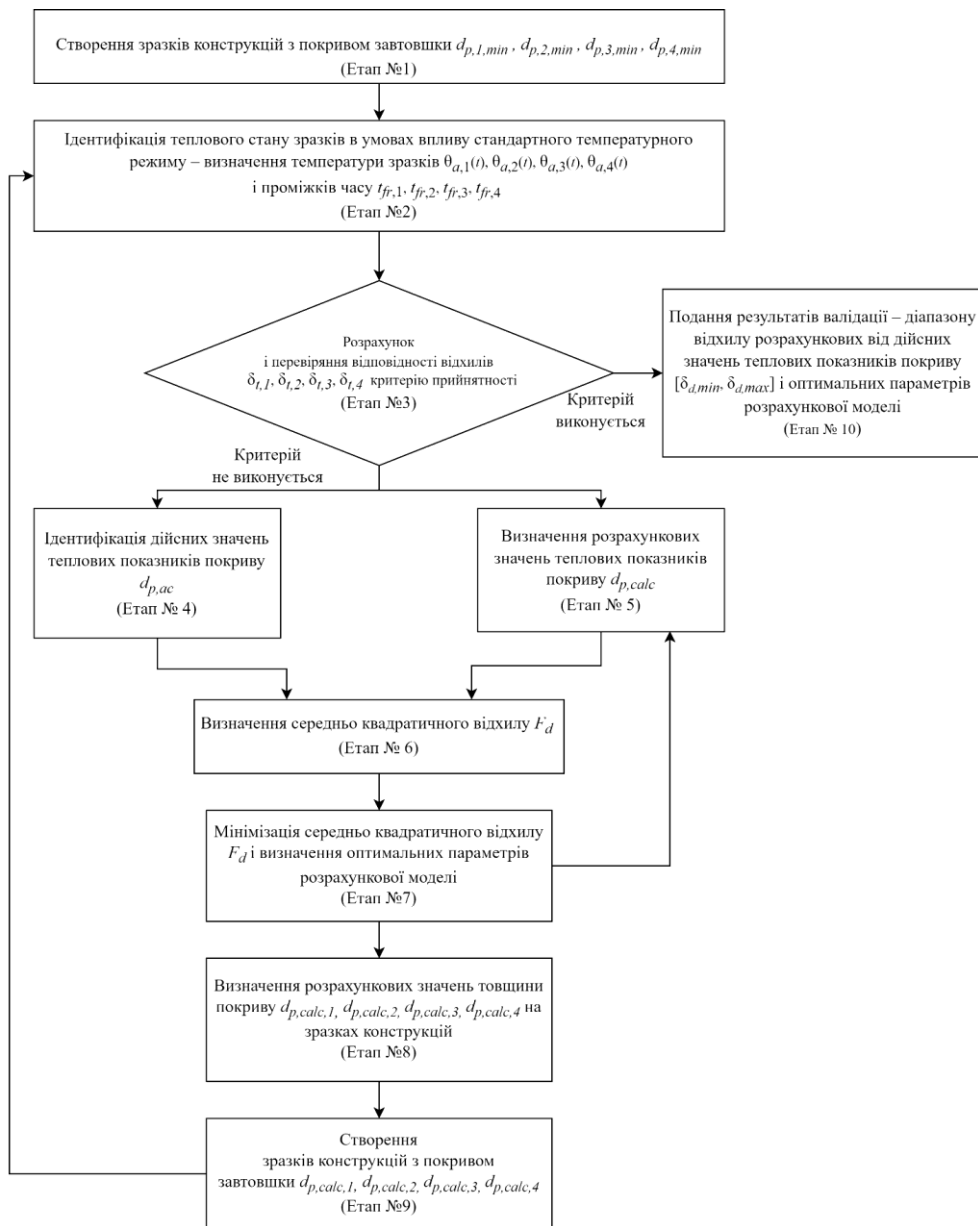


Рис. 4. Схематичне зображення процедури керування тепловим станом сталевих конструкцій будівель харчової промисловості

Розглядається система підтримки прийняття рішень для реалізації функцій керування.

На першому етапі створюють чотири зразки сталевих конструкцій (колон) заввишки 1,0 м, які мають мінімальне $(A_m/V)_{min} = 40 \text{ м}^{-1}$ і максимальне $(A_m/V)_{max} =$

300 м⁻¹ значення коефіцієнта поперечного перерізу (рис. 1). На зразки 1, 3 наносять покрив, який має мінімальну товщину $d_{p,min}$, а на зразки 2, 4 — покрив з максимальною товщиною $d_{p,max}$. На металеву поверхню зразків (під шаром покриву) посередині їх висоти з кожного боку встановлюють термоелектричні перетворювачі (термопари типу К).

На наступному етапі ці зразки у вертикальному положенні встановлюють у піч, піддають впливу стандартного температурного режиму, який відповідає номінальній залежності (9) і допустимим відхилам від неї, поданим в EN 1363-1:2020, і здійснюють ідентифікацію їхнього теплового стану. На цьому етапі визначають експериментальні дані щодо температури зразків $\theta_{a,1}(t)$, $\theta_{a,2}(t)$, $\theta_{a,3}(t)$, $\theta_{a,4}(t)$ і проміжки часу $t_{fr,1}$, $t_{fr,2}$, $t_{fr,3}$, $t_{fr,4}$ до досягнення критичних температур $\theta_{cr,min} = 350$ °C і $\theta_{cr,max} = 700$ °C.

$$\theta_s = 345lg(8t + 1) + 20, \quad (9)$$

де θ_s — номінальна (стандартна) температура в печі, °C; t — проміжок часу, який відраховують від початку впливу стандартного температурного режиму (початку нагрівання), хв.

На третьому етапі за формулами (5)—(8) розраховують відхили проміжків часу $t_{fr,1}$, $t_{fr,2}$, $t_{fr,3}$, $t_{fr,4}$ від нормованих (заданих) проміжків часу $t_{fr,requ,1}$, $t_{fr,requ,2}$, $t_{fr,requ,3}$, $t_{fr,requ,4}$, а за формулами (1)—(4) перевіряють виконання умов (критерію) щодо їх допустимого відхилу.

Якщо цей критерій не виконується, то на наступному етапі за отриманими експериментальними даними щодо температури зразків $\theta_{a,1}(t)$, $\theta_{a,2}(t)$, $\theta_{a,3}(t)$, $\theta_{a,4}(t)$ шляхом застосування валідованого розрахункового методу, який наведено в праці (Круковський, Новак, Поклонський, Єременко, & Фролов, 2021) і містить точну диференційну математичну теплову модель, подану в (Новак, Дріжд, Добростан, & Новак, 2022), здійснюють ідентифікацію дійсних (умовно точних) значень теплових показників покриву $d_{p,ac}$. Ці розрахунки виконують за номінальної температури в печі θ_s , номінальної початкової температури зразків $\theta_{a,nom}$, яка становить 20 °C, діапазонів коефіцієнта поперечного перерізу сталеві конструкції A_m/V від 40 м⁻¹ до 300 м⁻¹ (з кроком 10 м⁻¹) і критичної температури θ_{cr} від 350 °C до 700 °C (з кроком 50 °C), а також за значень нормованого проміжку часу $t_{fr,requ}$, які складають 30 хв, 60 хв, 120 хв і 150 хв.

На п'ятому етапі за отриманими експериментальними даними щодо температури зразків $\theta_{a,1}(t)$, $\theta_{a,2}(t)$, $\theta_{a,3}(t)$, $\theta_{a,4}(t)$, використовуючи розрахункову процедуру і модель, наведені в модифікованому методі, який валідують, визначають розрахункові значення теплових показників покриву $d_{p,calc}$. Під час цих розрахунків використовують математичну модель, яка містить одномірне скінченно-різницеve рівняння теплопровідності або рівняння лінійної регресії, подані в EN 13381-4:2013 і EN 13381-8:2013. На цьому етапі визначають значення параметрів моделі (коефіцієнтів теплопровідності покриву або регресії), які задовольняють умови, подані в EN 13381-4:2013 і EN 13381-8:2013:

- для кожного з чотирьох зразків (рис. 1) жодне розраховане за математичною моделлю значення проміжку часу t_{calc} до досягнення критичної температури (від $\theta_{cr,min} = 350$ °C до $\theta_{cr,max} = 700$ °C, з кроком 50 °C) не перевищує відповідного експериментального значення t_{exp} більше ніж на $P_1 = 15\%$;

- більшим за нуль є менше ніж $P_2 = 30\%$ окремих значень усіх відсоткових відмінностей t_{calc} від t_{exp} .

Значення параметрів моделі, що задовольняють цим умовам, використовують для розрахунків товщини покритву $d_{p,calc}$, які здійснюють за тих же нормованих параметрів ($\theta_s, \theta_{a,nom}, A_m/V, \theta_{cr}$ і $t_{fr,requ}$), що й на попередньому етапі під час визначення дійсної товщини $d_{p,ac}$.

На наступному етапі за формулою (10) визначають середньо квадратичний відхил F_d розрахункових значень теплових показників покритву $d_{p,calc}$ від їхніх дійсних величин $d_{p,ac}$:

$$F_d = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\delta_{di})^2}, \quad (10)$$

де n — кількість визначених значень $d_{p,calc}$; δ_d — відсотковий відхил розрахункового значення товщини покритву $d_{p,calc}$ від її дійсної величини $d_{p,ac}$, %, який розраховують за такою формулою:

$$\delta_d = 100(d_{p,calc} - d_{p,ac}) / d_{p,ac}. \quad (11)$$

На сьомому етапі здійснюють мінімізацію середньо квадратичного відхилу F_d і визначають такі значення (оптимальні) параметрів моделі, за яких цей відхил має найменшу величину. Під час цієї мінімізації також визначають відповідні кориговані значення розрахункових теплових показників $d_{p,calc}$ і кориговані величини параметрів P_1 і P_2 у вищенаведених умовах щодо відмінностей t_{calc} від t_{exp} .

На наступному етапі за отриманими коригованими розрахунковими величинами теплових показників $d_{p,calc}$ визначають значення товщини покритву $d_{p,calc,1}, d_{p,calc,2}, d_{p,calc,3}, d_{p,calc,4}$ на чотирьох зразках конструкцій (рис. 1) для проміжку часу 30 хв (для зразків 1 і 3) і 150 хв (для зразків 2 і 4) та критичної температури 350 °C (для зразків 3 і 4) і 700 °C (для зразків 1 і 2).

На дев'ятому етапі створюють чотири зразки конструкцій, ідентичні тим, які застосовували на першому етапі, з покритвом завтовшки $d_{p,calc,1}, d_{p,calc,2}, d_{p,calc,3}, d_{p,calc,4}$.

Ці зразки у вертикальному положенні встановлюють у піч, піддають впливу стандартного температурного режиму, здійснюють ідентифікацію їхнього теплового стану, перевіряють виконання критерію щодо його допустимого відхилу (1)—(4). У разі виконання цього критерію наводять отримані результати валідації — діапазон відхилу розрахункових від дійсних значень теплових показників покритву $[\delta_{d,min}, \delta_{d,max}]$ і оптимальні параметри розрахункової моделі (коефіцієнтів теплопровідності покритву або регресії, а також P_1 і P_2) (етап № 10). Якщо ці умови не виконуються, то здійснюють четвертий і наступні етапи.

Слід зазначити, що у запропонованій процедурі об'єктом керування є зразки порожнистих сталевих конструкцій квадратного перерізу, але вона є придатною і для інших типів сталевих конструкцій, які наведено в EN 13381-4:2013 і EN 13381-8:2013, зокрема для конструкцій двотаврового перерізу. У цьому разі іншими будуть лише конструкція і параметри зразків.

Для практичної реалізації зазначеної вище процедури керування необхідно розв'язати такі завдання:

а) створити алгоритмічне і програмне забезпечення для автоматизації процесів ідентифікації теплового стану зразків конструкцій і валідації модифікованих ме-

тодів визначення теплових показників покривів сталевих конструкцій, призначених для будівель харчової промисловості;

б) обґрунтувати значення або процедуру визначення допустимого відхилення $\delta_{i,permis}$ проміжку часу до досягнення критичної температури, з урахуванням можливих впливів відхилення фактичного від номінального температурного режиму в печі й відхилення фактичної від номінальної початкової температури зразків на значення проміжків часу $t_{fr,1}$, $t_{fr,2}$, $t_{fr,3}$, $t_{fr,4}$ до досягнення критичних температур 350 °C і 700 °C. Стандартами EN 13381-4:2013, EN 13381-8:2013 і EN 1363-1:2020 допускаються відхилення фактичного від номінального температурного режиму в печі до 15%, а фактичної від номінальної початкової температури зразків — до 100%. Результати досліджень (Новак, Дріжд, Добростан, & Новак, 2022; Новак, Новак, & Пустовий, 2023) підтверджують, що ці відхилення можуть суттєво впливати на тепловий стан сталевих конструкцій і через це їх необхідно враховувати під час оцінювання проміжків часу до досягнення критичної температури;

в) провести верифікацію запропонованої процедури керування зі створеним програмним забезпеченням шляхом застосування методів імітаційного і натурального експериментів. У цьому імітаційному експерименті ідентифікацію теплового стану чотирьох зразків конструкцій (температур $\theta_{a,1}(t)$, $\theta_{a,2}(t)$, $\theta_{a,3}(t)$, $\theta_{a,4}(t)$) і проміжків часу $t_{fr,1}$, $t_{fr,2}$, $t_{fr,3}$, $t_{fr,4}$ до досягнення критичних температур 350 °C і 700 °C здійснювати шляхом розв'язання прямої задачі теплопровідності з використанням заданих (відомих, умовно точних) теплофізичних властивостей покриву. Під час проведення імітаційного експерименту для врахування можливих впливів відхилення фактичної температури в печі від номінального температурного режиму і відхилення фактичної від номінальної початкової температури зразків на значення температур $\theta_{a,1}(t)$, $\theta_{a,2}(t)$, $\theta_{a,3}(t)$, $\theta_{a,4}(t)$ і проміжків часу $t_{fr,1}$, $t_{fr,2}$, $t_{fr,3}$, $t_{fr,4}$ до досягнення критичних температур 350 °C і 700 °C розв'язання прямої задачі теплопровідності здійснювати за номінальними і гранично допустимими значеннями температурного режиму в печі і початкової температури зразків. Натурний експеримент здійснювати із застосуванням обладнання, яке забезпечує автоматизоване створення стандартного температурного режиму в печі згідно з умовами, визначеними в EN 1363-1:2020, і автоматизоване вимірювання температури зразків сталевих конструкцій.

Висновки

Обґрунтовано застосування модифікованих методів зі зменшеною кількістю випробних зразків порівняно з EN 13381-4:2013 і EN 13381-8:2013 з метою зниження витрат на їх створення і випробування для визначення теплових показників покривів, призначених для вогнезахисту сталевих конструкцій будівель харчової промисловості.

Сформульовано задачу валідації цих модифікованих методів як задачу автоматизованого керування тепловим станом зазначених конструкцій в умовах впливу стандартного температурного режиму згідно з EN 1363-1:2020.

Розроблено процедуру автоматизованого керування тепловим станом сталевих конструкцій будівель харчової промисловості на основі валідації модифікованих методів визначення теплових показників їхніх покривів, яка дає змогу визначати

діапазон відхилу розрахункових від дійсних значень цих показників та оптимальні параметри в розрахунковій моделі, а також є прийнятною для забезпечення автоматизації експериментальних і розрахункових операцій.

Окреслено завдання, які необхідно розв'язати для практичної реалізації зазначеної процедури керування, пов'язані зі створенням алгоритмічного і програмного забезпечення, обґрунтуванням значення або процедури визначення допустимого відхилу проміжку часу до досягнення критичної температури, верифікацією процедури керування зі створеним програмним забезпеченням шляхом застосування методів імітаційного і натурального експериментів.

Визначено напрями подальших досліджень, орієнтовані на виявлення впливів відхилу фактичного від номінального температурного режиму в печі й відхилу фактичної від номінальної початкової температури зразків на значення проміжку часу до досягнення критичної температури сталевих конструкцій та розроблення методики проведення імітаційних і натуральних експериментів для верифікації запропонованої процедури керування.

Література

Круковський, П., Новак, С., Поклонський, В., Єременко, С., Фролов, Г. (2021). *Оцінка вогнестійкості металевих будівельних конструкцій та вогнезахисної здатності покриттів (розрахунково-експериментальний підхід)* (російською мовою). Київ: Франко Пак.

Новак, М., Харкянен, О. (2024). Автоматизація процесу валідації методів визначення теплових показників вогнезахисних покривів на конструкціях будівель харчової промисловості. *Наукові праці НУХТ*, 30(3), 7—21. doi: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-3.

Новак, С., Дріжд, В., Добростан, О., Новак, М. (2022). Вплив теплофізичних властивостей вогнезахисних матеріалів на тепловий стан сталевих колон за стандартного температурного режиму. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*, № 1(13), 88—110. <https://doi.org/10.33269/nvz.2022.1.88-110>.

Новак, С., Новак, М., Пустовий, М. (2023). Вплив відхилу температури в печі від номінального режиму на результати випробування сталевих конструкцій на вогнестійкість. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*, 2(16), 88—104. <https://doi.org/10.33269/nvz.2023.2.88-104>.

Новак, С., Добростан, О., Пустовий, М. (2023). Визначення проміжку часу збереженості вогнестійкості несучих сталевих конструкцій з різною початковою температурою. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*, 2(16), 4—21. <https://doi.org/10.33269/nvz.2023.2.4-21>.

Archanbeault, B., Connor, S. (2008). Proper model validation is important for all EMI/EMC applications. *Proc. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility EMC 2008* (pp. 1—8). doi: 10.1109/ISEMC.2008.4652152.

Bula, S., Boiko, R., Lysiuk, S., Kurtyak, Y., Fall, Y. (2014). Analysis and implementation of new models of fire furnaces. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*, 781, 20—26.

Chaturvedi, S., Vedrtam, A., Youssef, M., Palou, M., Barluenga, G., Kalauni, K. (2023). Fire-resistance testing procedures for construction elements — a review. *Fire*, 6(1), 5. <https://doi.org/10.3390/fire6010005>.

Keltner, N., Nash, L., Beitel, J., Parker, A., Welsh, S., Gilda, B. (2003). Fire safety test furnace characterization unit. *ASTM eBooks*, 128—146. doi: 10.1520/STP10952S.

Mentsiev, A., Mutaev, I. (2020). Automation and control of thermal processes in the furnace. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 734, 012212. doi:10.1088/1757-899X/734/1/012212.

Oktiawati, U., Alfata, M., Fahmizal Rahayu, S., Ridwan, A., Kusuma, D., Vidia, C. (2021). Development of monitoring system of furnace temperature for fire resistance test. *Conference: 2021 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)*. doi:

10.1109/ICECCE52056.2021.9514091.

Paquette-Rufiange, A., Prudhomme, S., Laforest, M. (2023). Optimal design of validation experiments for the prediction of quantities of interest. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 414. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2023.116182>.

Pozdieiev, S., Nizhnyk, V., Feshchuk, Y., Nekora, V., Nuianzin, O., Shnal, T. (2021). Investigation of the influence of the configuration of the fire furnace chamber on the temperature regime during the implementation of tests for fire resistance. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(1(112)), 34—40. doi:10.15587/1729-4061.2021.239235.

Sultan, M., Séguin, Y., Latour, J., Leroux, P., Henrie, J. (2006). Intermediate-scale furnace: a new fire resistance test facility at the National Research Council Canada. *Research Report (National Research Council of Canada. Institute for Research in Construction)*, no. RR—213 (1 January 2006). 19. doi:10.4224/20377352.

Zambaldi, E., Magalhaes, R., Barbosa, B., Silva, S., Ferreira, D. (2017). Lowcost automated control for steel heat treatments. *Applied Thermal Engineering*, 114, 163—169. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.11.177>.

УДК: 631.3 : 519.6

MATHEMATICAL MODELING OF BIOFILTRATION PROCESSES IN AQUAPONIC SYSTEMS

R. Zaloznyi, N. Zaiets

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Key words:

Aquaponic system
Biofilter
Nitrification
Nitrosomonas
Nitrobacter

Article history:

Received 17.09.2024
Received in revised form
01.10.2024
Accepted 21.10.2024

Corresponding author:

N. Zaiets

E-mail:

z-n@ukr.net

Citation: Залозний Р. В., Заєць Н. А. (2024). Математичне моделювання процесів біофільтрації в аквапонних системах. *Наукові праці НУХТ*, 30(5), 25—33.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-4

ABSTRACT

Modern trends in energy saving and sustainable development require agricultural production technologies to implement energy-efficient and environmentally friendly solutions. One of these advanced technologies is aquaponics. This system combines plant cultivation and aquaculture in a closed cycle, where both components interact to ensure the sustainability of the system. In this context, it is important to highlight the biofilter as a key element that ensures the efficient operation of the entire aquaponic system.

The biofilter plays a critical role in an aquaponics system because it is where toxic waste products such as ammonia and nitrites, excreted by fish, are converted into nutrients that plants need to grow. By doing this, the biofilter helps maintain balance in the system, keeping the aquatic medium safe for fish while providing essential nutrients to the plants.

The analysis of the mathematical model of the biofilter was carried out, the main dependencies were expressed. They were the total concentration of nitrates, the total concentration of nitrites and ammonia. During the modeling process, the results of the dynamics of changes in key parameters were obtained. Modeling of the biofilter using the MatLab Simulink software made it possible to obtain the results of processes in the biofilter: the dynamics of the concentration of *Nitrosomonas* and *Nitrobacter* bacteria, the dynamics of the concentration of nitrates, which is a decisive factor. Based on the simulation results, conclusions were made about the further strategy for managing the key parameters of the biofilter, which will ensure the stability of the entire system. The results obtained can be used to adjust the parameters in industrial aquaponic complexes, contributing to more efficient use of resources and reducing the costs of additional water purification.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-4

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ БІОФІЛЬТРАЦІЇ В АКВАПОННИХ СИСТЕМАХ

Р. В. Залозний, Н. А. Засць

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Сучасні тенденції до енергозбереження та сталого розвитку вимагають від технологій агровиробництва впровадження енергоефективних та екологічно чистих рішень. Однією з таких передових технологій є аквапоніка, що поєднує вирощування рослин та аквакультуру в замкнутому циклі, де обидва компоненти взаємодіють для забезпечення сталості системи. У цьому контексті важливо виокремити біофільтр як ключовий елемент, що забезпечує ефективну роботу всієї аквапонної системи.

Біофільтр виконує критичну роль у системі аквапоніки, оскільки саме в ньому відбувається перетворення токсичних відходів, таких як аміак і нітрити, що виділяються рибами, у поживні елементи, які необхідні рослинами для росту. Завдяки цьому біофільтр допомагає зберігати баланс у системі, підтримуючи водне середовище в безпечному стані для риб і одночасно забезпечуючи рослини необхідними поживними речовинами.

У статті проведено аналіз математичної моделі біофільтра, виражено такі основні залежності, як загальна концентрація нітратів, загальна концентрація нітритів і аміаку. У процесі моделювання отримано результати динаміки змін ключових параметрів. Моделювання біофільтра з використанням програмного забезпечення MatLab Simulink дало змогу отримати результати перехідних процесів у біофільтрі: динаміку концентрації бактерій *Nitrosomonas* і *Nitrobacter*, динаміку концентрації нітратів, що є вирішальним фактором.

На основі результатів моделювання було зроблено висновки про подальшу стратегію керування ключовими параметрами біофільтра, що, у свою чергу, забезпечить стабільність функціонування всієї системи. Отримані результати можуть бути застосовані для налаштування параметрів у промислових аквапонних комплексах, сприяючи ефективнішому використанню ресурсів і зниженню витрат на додаткову очистку води.

Ключові слова: аквапонна система, біофільтр, нітрифікація, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*.

Постановка проблеми. Біофільтр в аквапонних системах виконує важливу роль у перетворенні відходів життєдіяльності риб на поживу для рослин, що дає змогу забезпечити природний кругообіг речовин і водночас підтримувати екобаланс у замкненій системі. Однак у процесі використання біофільтрів виникає низка проблем, які потребують уваги та вирішення.

Першою важливою проблемою є аміак, який виділяється рибами, оскільки він токсичний для них у високих концентраціях. Біофільтр має перетворювати аміак на менш токсичні нітрити та нітрати за допомогою нітрифікуючих бактерій *Nitrosomonas* та *Nitrobacter*. Для цього необхідно забезпечити стабільний рН, температуру, аерацію та площу поверхні для колонізації бактерій.

Іншою проблемою є те, що з часом у біофільтрі накопичуються органічні залишки, які ускладнюють його роботу. Це створює необхідність у регулярному очищенні фільтра, що може порушувати біологічний баланс системи та негативно впливати на ріст бактерій.

Ефективність біофільтра залежить від кількості та активності бактерій, що утворюють біоплівку. Умови, які сприяють росту бактерій, також можуть сприяти розмноженню небажаних мікроорганізмів або водоростей, що зменшує ефективність фільтрації та негативно впливає на якість води. Умови, такі як температура, аерація та концентрація кисню, мають залишатися стабільними, щоб забезпечити ефективну роботу біофільтра.

Для ефективної роботи біофільтра необхідно створити математичну модель і провести комп'ютерне моделювання. У результаті таких досліджень можна проаналізувати основні параметри біофільтра та спрогнозувати роботу всієї системи аквапоніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі праці з аквапоніки зосереджують увагу на ключових біохімічних процесах у воді, зокрема на побічних продуктах життєдіяльності риби — аміаку (NH_3), що є токсичним для риб. У біофільтрі здійснюється процес нітрифікації, у якому NH_3 перетворюється на NO_2 та NO_3 , що є поживою для рослин.

У (Bradley, Lane, & Woodbury, 2018) описано модель біофільтра та представлені ключові константи модулювання. Праця (Pedersen, 2018) демонструє поетапне перетворення NH_3 у NO_2 з подальшим перетворенням у NO_3 . Оскільки аквапонна система є симбіотичною, то ключові параметри, що впливають на рослини та рибу, є важливими і в процесі біофільтрації. Наприклад, у (Hager, Bright, Tidwell, & Duscì, 2021; Gayam та ін., 2022) виділено температуру, рН, аміак, розчинений кисень, нітрати та нітрити. Також у цій праці звернено увагу на те, що при виборі параметрів важливо враховувати особливості конкретного виду для вирощування. Зважаючи на рекомендовані параметри води, можна виділити загальний компромісний варіант: температура в діапазоні від 18 до 30 °C, рН в діапазоні 6—7, аміак на рівні, меншому за 1 mg/L, нітрит менше за 1 mg/L, нітрат менше 150 mg/L, розчинений кисень у діапазоні 5—8 mg/L.

У системах аквапоніки, де важливими є взаємодії між водним середовищем, рослинами та рибами, моніторинг і контроль основних параметрів води є надзвичайно важливими для забезпечення стабільної та продуктивної роботи системи. Оскільки біофільтр виконує важливу роль у перетворенні токсичних сполук (аміаку) в менш токсичні форми (нітрати), важливо налаштувати параметри води так, щоб це забезпечувало оптимальні умови для росту рослин і здоров'я риби. (Karimanziga, & Rauschenbach, 2021).

Мета дослідження: розробка та аналіз математичної моделі біофільтраційних процесів в аквапонних системах, комп'ютерне моделювання функціонування біофільтра з подальшим аналізом отриманих результатів.

Матеріали і методи. При дослідженні систем аквапоніки важливо приділити увагу процесам, що відбуваються у біофільтрі. Саме в ньому аміак, що є наслідком життєдіяльності риби, перетворюється в нітрати та нітрити. (Purwalaksana, Tambunan, & Hutaauruk, 2022). Далі в гідропонній підсистемі рослини поглинають NO_2

та NO_3 . Для забезпечення процесу окиснення аміаку необхідно забезпечити концентрацію відповідних бактерій: *Nitrosomonas* та *Nitrobacter*. У працях (Knowles, Downing, & Barrett, 1965; Bradley, Lane, & Woodbury, 2018) представлено математичну модель з експериментальними даними.

У (Sallenave, 2016) вказано, що для процесу біофільтрації необхідно забезпечувати високий рівень кисню, оскільки нітрифікуючі бактерії є чутливими до низького рівня розчиненого кисню. Крім того, на нітрифікацію впливає наявність у воді непоглинутих решток корму, що також сповільнює нітрифікацію. Схематичне зображення біофільтрації представлено на рис. 1.

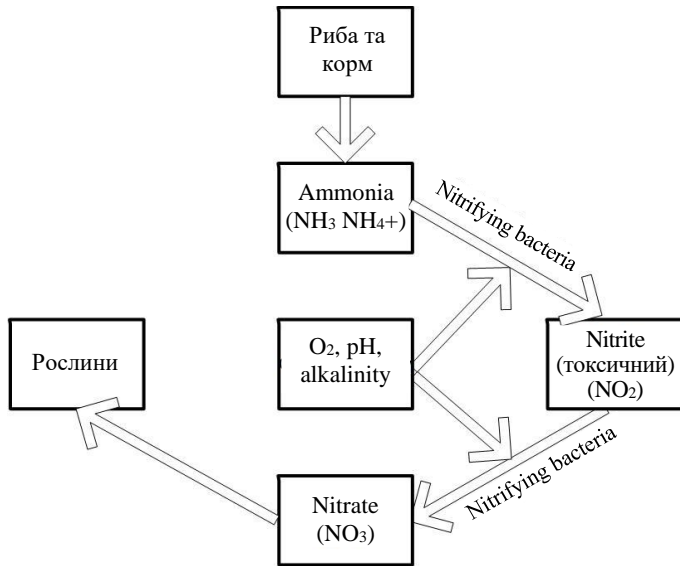


Рис. 1. Схематичне зображення процесу біофільтрації в системах аквапоніки

Для повноти моделі необхідно враховувати особливості систем зі сталим значенням біомаси риб. У таких системах для росту рослин необхідно забезпечувати приріст нітрифікуючих бактерій. Це можливо за наявності додаткових джерел аміаку.

Приріст бактерій *Nitrosomonas* та *Nitrobacter* представлено у вигляді диференціальних рівнянь (1) та (2).

$$\frac{dC_m}{dt} = \frac{k_m C_m x}{x + X}; \quad (1)$$

$$\frac{dC_b}{dt} = \frac{k_b C_b y}{y + Y}; \quad (2)$$

де C_m — концентрація бактерії *Nitrosomonas*; C_b — концентрація бактерії *Nitrobacter*; x — концентрація аміаку; y — концентрація нітритів.

Коефіцієнти k_m , k_b , X , Y — коефіцієнти пропорційності: константа росту *Nitrosomonas* (3), константа насичення *Nitrosomonas* (4), константа росту *Nitrobacter* (5), константа насичення *Nitrobacter* (6), що пов'язані з температурою T , визначені емпіричним шляхом у праці (Knowles, Downing, & Barrett, 1965).

$$k_m = 10^{0,0413T - 0,944}; \quad (3)$$

$$X = 10^{0,051T-1,158} ; \quad (4)$$

$$k_b = 10^{0,0255T-0,492} ; \quad (5)$$

$$Y = 10^{0,063T-1,149} . \quad (6)$$

Результати та обговорення. Для визначення концентрації бактерій *Nitrosomonas* і *Nitrobacter* важливо розглянути два випадки. Перший випадок — наявність додаткового джерела аміаку та нітрату видаленого зовнішніми факторами. У рівняннях (7) та (8) представлено рівняння балансу бактерій *Nitrosomonas* та *Nitrobacter*. C_{m0} — початкове значення концентрації бактерії *Nitrosomonas*; C_{b0} — початкове значення концентрації бактерії *Nitrobacter*; E_m — загальна маса бактерії *Nitrosomonas*; E_b — загальна маса бактерії *Nitrobacter*; x_0 — початкове значення концентрації аміаку; y_0 — початкове значення концентрації нітритів:

$$C_m - C_{m0} = E_m(x_0 + x_a - x). \quad (7)$$

Оскільки утворення нітритів пов'язане із загальною масою аміаку, то важливо ввести f_m — функцію відношення маси утвореного нітриту до маси окисненого аміаку:

$$C_b - C_{b0} = E_b(y_0 - y_a + f_m(x_0 + x_a - x) - y). \quad (8)$$

У виразах (7) та (8) x_a — загальний аміак, доданий із зовнішніх джерел, та y_a — нітрат видалений зовнішніми факторами. Зазвичай, видалення із системи нітрату передбачає поглинання його рослинами.

Другий випадок — без наявності додаткового джерела аміаку та нітрату, видаленого зовнішніми факторами, описаний рівняннями (9) та (10):

$$C_m - C_{m0} = E_m(x_0 - x) ; \quad (9)$$

$$C_b - C_{b0} = E_b(y_0 + f_n(x_0 - x) - y). \quad (10)$$

Концентрацію нітратів z можна визначити з виразу (11):

$$z = z_0 - z_{up} + f_n(y_0 - y_a + f_m(x_0 + x_a - x) - y) , \quad (11)$$

де z_0 — початкова концентрація нітратів; z_{up} — нітрити поглинуті рослинами; f_n — відношення маси нітрату до маси нітриту.

Далі у модель введемо змінні:

$$\Delta x = x_0 + x_a - x ; \quad (12)$$

$$\Delta y = y_0 - y_a - y ; \quad (13)$$

$$\Delta z = z_0 - z_{up} ; \quad (14)$$

$$\Delta x_0 = x_0 - x ; \quad (15)$$

$$\Delta y_0 = y_0 - y. \quad (16)$$

Вирази (1) та (2) представимо системою приросту бактерій:

$$\begin{cases} \frac{dC_m}{dt} = \frac{k_m C_m x}{x+X} \\ \frac{dC_b}{dt} = \frac{k_b C_b y}{y+Y} \end{cases} . \quad (17)$$

Система взаємозв'язків концентрацій першого випадку матиме вигляд (7) та (8):

$$\begin{cases} C_m - C_{m0} = E_m \Delta x ; \\ C_b - C_{b0} = E_b (f_m (\Delta x) + \Delta y) . \end{cases} \quad (18)$$

Для другого випадку (8) та (9):

$$\begin{cases} C_m - C_{m0} = E_m \Delta x_0 \\ C_b - C_{b0} = E_b (f_m (\Delta x_0) + \Delta y_0) \end{cases} \quad (19)$$

Концентрація нітратів (11) матиме вигляд:

$$z = \Delta z + f_n (f_m (\Delta x) + \Delta y) . \quad (20)$$

Параметри моделювання обрані відповідно до (Bradley, Lane, & Woodbury, 2018), де зазначається, що ключові константи для моделювання встановлені емпіричним методом. Початкові умови, константи моделювання та результати представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Параметри моделювання

№ п/п	Параметри	Умовні позначення	Значення	Одиниці вимірювання
1.	Константа насичення <i>Nitrosomonas</i>	X	0,7278	mg/L
2.	Константа насичення <i>Nitrobacter</i>	Y	1,2910	mg/L
3.	Константа росту <i>Nitrosomonas</i>	k_m	0,7621	1/day
4.	Константа росту <i>Nitrobacter</i>	k_b	1,0420	1/day
5.	Концентрація бактерії <i>Nitrosomonas</i>	C_m	0,4525	mg/L
6.	Концентрація бактерії <i>Nitrobacter</i>	C_b	0,1784	mg/L
7.	Початкове значення концентрації бактерії <i>Nitrobacter</i>	C_{b0}	0,0005	mg/L
8.	Початкове значення концентрації бактерії <i>Nitrosomonas</i>	C_{m0}	0,0025	mg/L
9.	Концентрація аміаку	x	0,000018	mg/L
10.	Концентрація нітритів	y	0,02519	mg/L
11.	Концентрація нітратів	z	10,82	mg/L
12.	Загальна маса бактерії <i>Nitrosomonas</i>	E_m	0,05	—
13.	Загальна маса бактерії <i>Nitrobacter</i>	E_b	0,02	—
14.	Відношення маси утвореного нітриту до маси окисненого аміаку	f_m	0,99	—
15.	Відношення маси нітрату до маси нітриту	f_n	0,99	—
16.	Температура	T	25	°C
17.	Загальний аміак, доданий із зовнішніх джерел	x_a	0	mg/L
18.	Нітриди видалений зовнішніми факторами (рослинами)	y_a	0	mg/L
19.	Нітрати поглинуті рослинами	z_{up}	0	mg/L
20.	Початкове значення концентрації аміаку	x_0	6	mg/L
21.	Початкове значення концентрації нітритів	y_0	0,01	mg/L
22.	Початкова концентрація нітратів	z_0	0,01	mg/L

На рис. 2 представлена модель біофільтра виконана за допомогою програмного забезпечення MatLab Simulink.

Математична модель включає значення нітритів та аміаку, що надходять у систему з додаткових джерел, однак при моделюванні ці значення дорівнюють нулю. Це пояснюється тим, що система із статичною біомасою риб є частковим випадком.

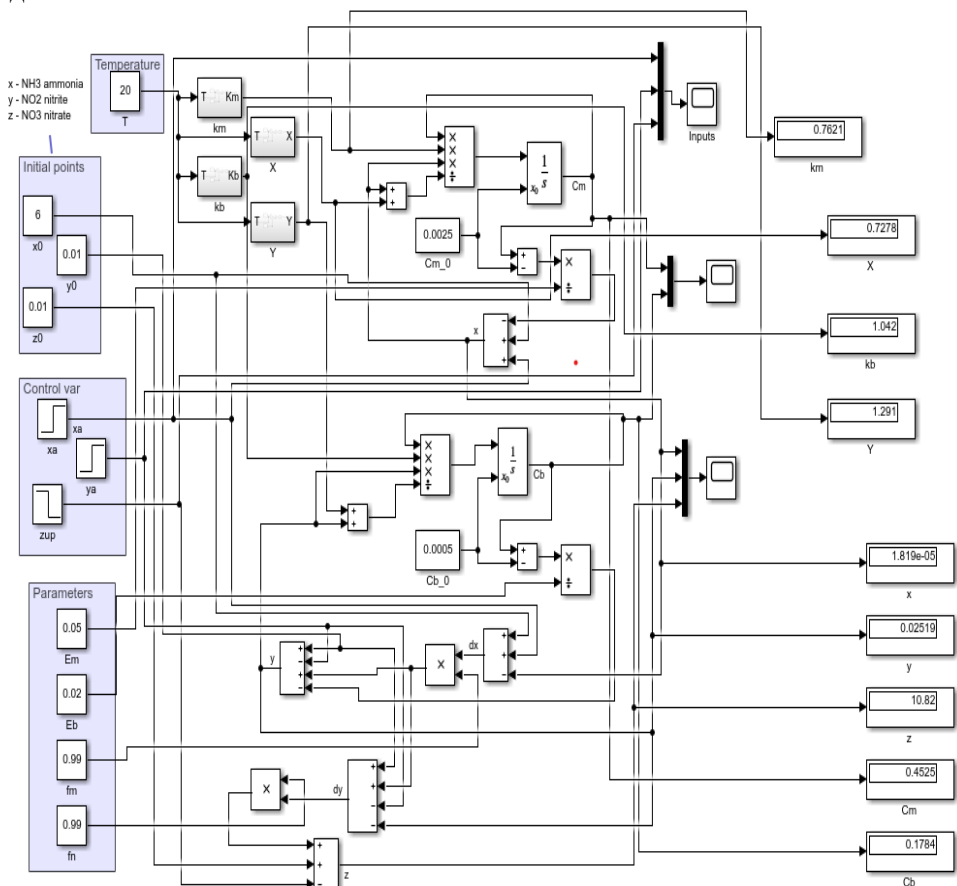


Рис. 2. Модель біофільтра

На рис. 3 представлено динаміку зміни концентрації досліджуваних параметрів протягом 12 днів. Запропонована модель надає можливість побачити динаміку приросту бактерій (рис. 4).

Моделювання біофільтра дає змогу оцінити концентрацію аміаку, нітритів і нітратів. Можна побачити, що насичення нетоксичними нітратами настає на 12 день, подальше моделювання на 20 та 30 днів не змінює параметри нітратів. Значення, яке досягається при моделюванні, вказано у табл. 1.

Тестування моделей ілюструє функціональність підсистеми бактерії та її здатність реагувати на порушення з боку інших підсистем або на зміни встановлених рівнів аміаку та нітратів. Моделювання також показує, що бактерії швидко витрачають будь-який доступний рівень аміаку.

Ще одним важливим аспектом функціонування біофільтра є концентрація бактерій *Nitrosomonas* та *Nitrobacter* оскільки саме вони впливають на загальний рівень токсичності та поживності води.

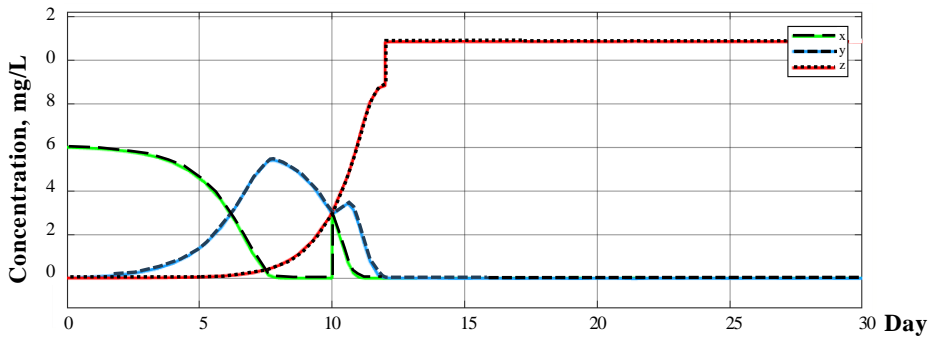


Рис. 3. Результати моделювання концентрації аміаку — x, нітритів — y та нітратів — z

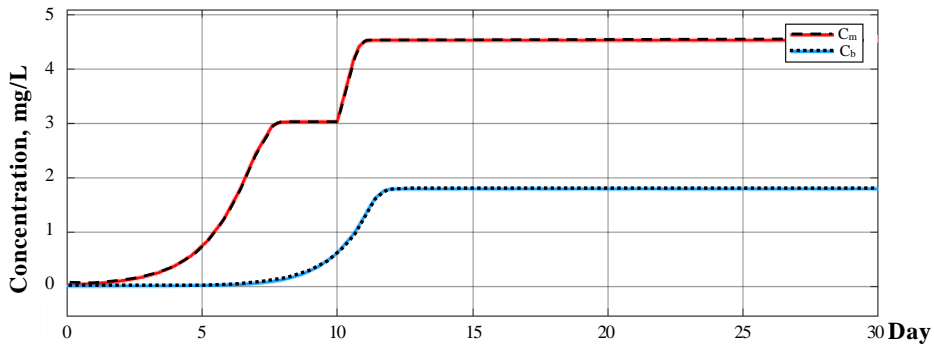


Рис. 4. Результат моделювання приросту бактерій C_m — концентрація бактерій *Nitrosomonas*, C_n — концентрація бактерій *Nitrobacter*

Висновки

Запропонована модель базується на рівняннях концентрації бактерій *Nitrosomonas* та *Nitrobacter* з урахуванням коефіцієнтів зростання та початкових умов. Оскільки основною завданням біофільтра є нітрифікація, у процесі якої токсичний аміак перетворюється в нетоксичні нітрати, то отриманий результат підтвердив, що загальна концентрація нітратів становить 10,82 mg/L.

Зважаючи на токсичність аміаку та нітритів, важливо виділити з рис. 3 приріст нітратів, де графік вказує на те, що запропонована модель є оптимальною для системи біофільтрації. У результаті моделювання встановлено, що насичення нітратами настає на дванадцятий день. Концентрація нітритів становить 0,02519 mg/L, загальна концентрація аміаку у системі складає 0,000018 mg/L.

Крім того, отримано динаміку зміни концентрацій самих бактерій *Nitrosomonas* та *Nitrobacter*, що забезпечує можливість оцінити подальші процеси зміни концентрацій нітратів, нітритів та аміаку.

Розроблена модель дає змогу, крім отриманих параметрів, розробити стратегію управління, яка полягає в тому, що вплив на систему здійснюватиметься шляхом

зміни температури, додаванням у систему аміаку та збільшенням або зменшенням популяції риби та рослин. Параметри, представлені у моделі: T — температура, x_a — доданий аміак, y_a — нітрити поглинуті рослинами, z_{up} — нітрати поглинуті рослинами. Відповідно збільшення кількості риби призводить до збільшення рівню аміаку, а збільшення кількості рослин — до зменшення концентрації нітратів і нітритів.

Література

Abbasi, R., Martinez, P., Ahmad, R. (2021). An ontology model to support the automated design of aquaponic grow beds. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/352067397_An_ontology_model_to_support_the_automated_design_of_aquaponic_grow_beds.

Bakar, Z. A., Nor, Z., Kadiran, K. A., Misnan, M. F. (2022). Smart Plant Monitoring System Using Aquaponics Production Technological with Arduino Development Environment (IDE) and SMS Alert: A Prototype. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/365840530_Smart_Plant_Monitoring_System_Using_Aquaponics_Production_Technological_with_Arduino_Development_Environment_IDE_and_SMS_Alert_A_Prototype.

Bradley, M., Lane, S., Woodbury, N. (2018). Modeling and Control of an Aquaponics System. Взято з: https://byu.apmonitor.com/do/uploads/Main/Report_aquaponics2018.pdf.

Gayam, K. K., Jain, A., Gehlot, A., Singh, R., Akram, S. V., Singh, A., Anand, D., Noya, I. D. (2022). Imperative Role of Automation and Wireless Technologies in Aquaponics Farming. <https://doi.org/10.1155/2022/8290255>.

Güzel, Ş., Parug, Ş. (2013). A Sustainable Production Model: Aquaponic System. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/338604789_A_Sustainable_Production_Model_Aquaponic_System.

Hager, J., Bright, L. A., Tidwell, J. H., Dusci, J. (2021). A Practical Handbook for Growers AQUAPONICS Production Manual. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/355972997_A_Practical_Handbook_for_Growers_AQUAPONICS_Production_Manual.

Karimanzira, D., Rauschenbach, T. (2021). An intelligent management system for aquaponics. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/350632213_An_intelligent_management_system_for_aquaponics.

Khandelwal, G., Ansari, N., Ostwal, R. (2024). A Comprehensive Review on: Aquaponic Farming Water Quality Prediction. <https://doi.org/10.32628/CSEIT2410420>.

Knowles, G., Downing, A. L., Barrett, M. (1965). Determination of kinetic constants for nitrifying bacteria in mixed culture, with the aid of an electronic computer. *Journal of General Microbiology*, 38(2), 263—278.

Krastanova, M., Sirakov, I., Ivanova, S., Yarkov, D. (2022). Aquaponic systems: biological and technological parameters. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/360427130_Aquaponic_systems_biological_and_technological_parameters.

Patillo, D. A., Cline, D. J., Hager, J. V., Roy, L. A., Hanson T. R. (2022). Challenges Experienced by Aquaponic Hobbyists, Producers, and Educators. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/366437698_Challenges_Experienced_by_Aquaponic_Hobbyists_Producers_and_Educators.

Pedersen, S. (2018). Simulation and Optimization of Recirculating Aquaculture Systems. Department of Electrical Engineering Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden. Взято з: https://research.chalmers.se/publication/505266/file/505266_Fulltext.pdf.

Purwalaksana, A. Z., Tambunan, I. H., Hutauruk, A. R. (2022). Automation and Monitoring for Aquaponic System Based on NodeMcu. *Journal of Technical Engineering: Piston*, 5(2), 72—82.

Quoc, D. P., Ahn, T. P., Trang, L. T. (2024). Possibility Of Using *Sonneratia Caseolaris* (L.) Engl In the Aquaponic Model with White Shrimp combined with Tilapia. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1349/1/012034>.

Salleneave, R. (2016). Important Water Quality Parameters in Aquaponics Systems. Взято з: https://pubs.nmsu.edu/_circulars/CR680/.

Taufikurahman, T., Astutiningsih, N. T., Ulfa, N. S., Aliyyatussaadah, I. (2024). Enhancing aquaponic cultivation in Indonesia: A comparative study of bioball biofilters with different additives. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1388/1/012034>.

ANTAGONISTIC PROPERTIES OF YEAST KILLER TOXINS: BIOSYNTHESIS AND PRACTICAL APPLICATIONS

M. Krasko, Y. Reznichenko, V. Krasinko

National University of Food Technologies

Key words:

Killer toxins
Biosynthesis
Antimicrobial activity
Pathogenic
microorganisms

Article history:

Received 12.09.2024
Received in revised form
27.09.2024
Accepted 09.10.2024

Corresponding author:

Y. Reznichenko

E-mail:

reznichenkos@ukr.net

Citation: Красько М. О., Резніченко Ю. М., Крассінко В. О. (2024). Антагоністичні властивості дріжджових кілер-токсинів: біосинтез та практичне застосування. *Наукові праці НУХТ*, 30(5), 34—57. DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-5

ABSTRACT

Interest in yeast killer toxins — protein exometabolites synthesized by certain yeast species — is driven by their antagonistic properties against microorganisms, particularly pathogens. Yeast killer toxins were first identified in the 1950s in *Saccharomyces* yeast, and later described in *Kluyveromyces*, *Pichia*, *Candida*, and some other yeasts. The mechanisms of action of killer toxins include disrupting the integrity of the cell wall or membrane of the target cell and destructive effects on the DNA of sensitive cells.

Yeast killer toxins have potential applications in various fields, including agriculture, food industry, and medicine. In agriculture, they can be used for biological control of phytopathogenic fungi. In the food industry, killer toxins serve as safe bio-preservatives that prevent the growth of undesirable microorganisms in raw materials, semi-finished products, and finished goods. Their most extensive use is observed in winemaking.

In medicine, killer toxins may serve as an alternative to traditional antibiotics, particularly for the treatment of candidiasis, due to their selective action against pathogenic *Candida* strains, minimal impact on beneficial microflora, low likelihood of resistance development, and natural origin, which reduces the risk of toxicity.

Generalized data on the structure and biosynthesis of killer toxins, their mechanisms of action, qualitative and quantitative determination methods, and prospects for their practical production are presented in the article.

АНТАГОНІСТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДРІЖДЖОВИХ КІЛЕР-ТОКСИНІВ: БІОСИНТЕЗ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ

М. О. Красько, Ю. М. Резніченко, В. О. Красінько

Національний університет харчових технологій

Інтерес до дріжджових кілер-токсинів — білкових екзометаболітів, які синтезуються деякими видами дріжджів, зумовлений їхніми антагоністичними властивостями проти мікроорганізмів, зокрема хвороботворних. Вперше дріжджові кілер-токсини виявили у 1950-х роках у дріжджах роду *Saccharomyces*, а пізніше описали у дріжджів *Kluveromyces*, *Pichia*, *Candida* та деяких інших. Досліджені механізми впливу кілер-токсинів включають порушення цілісності клітинної стінки або мембрани клітини-мішені, а також руйнівний вплив на ДНК чутливих клітин.

Дріжджові кілер-токсини мають потенціал для використання у різних сферах, зокрема в сільському господарстві, харчовій промисловості та медицині. У сільському господарстві вони можуть використовуватися для біологічного контролю фітопатогенних грибів. У харчовій промисловості кілер-токсини є безпечними біопресервантами, що запобігають росту небажаних мікроорганізмів у сировині, напівпродуктах, готовій продукції. Найширше їх застосування спостерігається в сучасному виноробстві. У медицині дріжджові кілер-токсини мають значні перспективи використання для лікування інфекцій, викликаних чутливими мікроорганізмами, тобто потенційно мають розглядатися як альтернатива традиційним антибіотикам. Дріжджові кілер-токсини можуть ефективно використовуватися для лікування кандидозів, зважаючи на такі їхні переваги: вибіркова дія на патогенні штами дріжджів роду *Candida*, мінімальний вплив на корисну мікрофлору організму людини, низька ймовірність розвитку резистентності та природне походження, що знижує ризик токсичності для організму людини. У представленій статті розглядаються узагальнені дані щодо особливостей будови та біосинтезу, механізмів дії, методик якісного та кількісного визначення, а також перспектив практичного одержання дріжджових кілер-токсинів.

Ключові слова: кілер-токсини, біосинтез, антимікробна активність, патогенні мікроорганізми.

Постановка проблеми. Наразі триває активний пошук нових препаратів проти кандидозів, викликаних різними патогенними штамми дріжджів роду *Candida*. Це спричинено рядом факторів, зокрема тим, що найпоширеніший збудник кандидозу, *C. albicans*, поступово розвиває резистентність до протигрибкових препаратів, які використовуються для лікування кандидозу. Це означає, що ці препарати стають менш ефективними і лікування кандидозу стає більш складним і тривалим. Крім того, в останні роки були виявлені нові види дріжджів роду *Candida*, які можуть викликати кандидоз. Ці види *Candida* часто мають більш високу резистентність до існуючих препаратів на відміну від *C. albicans*. До того ж

протигрибкові препарати можуть викликати ряд побічних ефектів, таких як нудота, блювання, діарея, головний біль, шкірні висипання. У деяких випадках ці побічні ефекти можуть бути серйозними і вимагати припинення лікування (Bhattacharya, Sae-Tia, & Fries, 2020).

Отже, причини, які змушують залучати значні ресурси для розроблення нових аналогів протигрибкових препаратів для лікування кандидозів, такі:

- зростаюча резистентність патогенних видів *Candida* до існуючих препаратів;
- поява нових видів *Candida*, які викликають кандидоз;
- небажані побічні ефекти існуючих протигрибкових препаратів.

Пошук аналогів протигрибкових препаратів проти кандидозу спрямований на вирішення цих проблем. Аналогічні препарати можуть бути більш ефективними проти резистентних штамів *Candida*, ефективними проти нових видів *Candida* і мати меншу кількість побічних ефектів. Дослідження аналогів протигрибкових препаратів проти кандидозу проводяться в різних напрямках. У цьому контексті дріжджові кілер-токсини, які є білковими екзометаболітами, синтезованими певними видами дріжджів, представляють собою перспективний напрямок у пошуку альтернативних терапевтичних засобів. Їхня здатність вибірково діяти на патогенні штами *Candida* дає змогу припустити, що ці токсини можуть стати ефективними засобами для лікування кандидозів. Вони не лише здатні боротися з небажаними мікроорганізмами, але й мають потенціал зменшити негативний вплив на корисну мікрофлору організму. Всебічне вивчення дріжджових кілер-токсинів не лише дасть змогу знайти нові підходи до лікування кандидозів, а й сприятиме розвитку нових методів боротьби з резистентними формами мікроорганізмів.

Мета статті: узагальнення літературних даних щодо характеристики дріжджових кілер-токсинів, механізмів їхньої антимікробної дії, а також особливостей одержання та визначення активності кілер-токсинів щодо патогенних мікроорганізмів.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження стали наукові публікації зарубіжних учених у провідних періодичних і спеціалізованих світових виданнях, що стосуються визначення основних властивостей кілер-токсинів. Для пошуку наукових публікацій використовували наукометричні бази даних Pub-Med, Google Scholar.

Викладення основних результатів дослідження. *Механізм антимікробної дії кілер-токсинів.* Деякі дріжджі мають потенційну здатність синтезувати білки або глікопротеїни, що є смертельними для чутливих штамів дріжджів, а також деяких грибів і бактерій. Такі речовини білкового походження отримали назву кілер-токсинів або мікоцинів. На сьогодні відомо, що кілерний фенотип широко поширений серед багатьох дріжджів, зокрема вбивчу активність здатні проявляти понад 100 видів дріжджів, що належать до більш ніж сорока родів (El-Banna, Malak, & Shehata, 2011; Giovati, Ciociola, De Simone, Conti, & Magliani, 2021).

Кілер-системи дріжджів були відкриті відносно недавно, порівняно з антагоністичними системами бактерій та інших грибів, а тому значну частину інформації, яка стосується синтезу кілер-токсинів та механізмів їх дії ще необхідно розкрити та деталізувати на молекулярному рівні (Bajaj, & Singh, 2017). Проте в ході вже проведених досліджень було встановлено, що виділені кілер-токсини відрізняються між собою не лише фізико-хімічними властивостями, але й механізмами

розпізнавання та знищення чутливих клітин (Magliani, Conti, Travassos, & Polonelli, 2008).

Так, вбивча дія кілер-токсинів щодо чутливих мікроорганізмів характеризується двоетапним механізмом, опосередкованим рецепторами. Під час першого етапу кілер-токсин розпізнає та зв'язується з первинним рецептором на клітинній стінці чутливої мішені (Magliani, Conti, Travassos, & Polonelli, 2008; Mannazzu, 2019). Такими первинними рецепторами можуть виступати: β -1,6-глюкан для кілер-токсинів K1 та K2 дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* (Liu та ін., 2015); β -1,3-глюкан, який діє як первинний рецептор для токсину дріжджів *Wickerhamomyces anomalus* ATCC 96603 (Polonelli, Magliani, Ciociola, Giovati, & Conti, 2011); монопротеїн є рецептором для кілера K28 *S. cerevisiae* і токсину *Pichia membranifaciens* CYC1086 та хітин, який слугує рецептором для токсину *Debaryomyces robertsiae* CBS6693, специфічним рецептором для дріжджів *Kluyveromyces lactis* є зимоцин. Етап розпізнавання не потребує витрат енергії, а отже, є енергонезалежним (Santos, San Mauro, Bravo, & Marquina, 2009; Цапко, Красінько, 2021).

Другий, енергозалежний етап полягає в переміщенні токсину на цитоплазматичну мембрану чутливого мікроорганізму для подальшої взаємодії з вторинними рецепторами. Цей етап менш охарактеризований, а тому вторинні рецептори відомі або припущені для досить небагатьох кілер-токсинів (Mannazzu, 2019). Так, на сьогодні точно ідентифіковано лише мембранний рецептор для токсину K1 *S. cerevisiae* — Krel, O-глікозилований поверхневий білок дріжджової клітини, який прикріплений до плазматичної мембрани через глікозилфосфатидилінозитоловий (GPI) якір і бере участь у синтезі β -1,6-глюкану. Також існують припущення, що вторинним рецептором для токсину K28 сахароміцетів може бути HDEL Erd2p, який у низькій кількості копій локалізується на цитоплазматичній мембрані. Також було виявлено, що білок плазматичної мембрани Swp2p з молекулярною масою 11,7 кДа та його GPI-закріплений попередник можуть виступати як первинні рецептори для токсину РМКТ, синтезованого дріжджами *Pichia membranifaciens*. Варто додати, що взаємодія між кілер-токсинами та плазматичною мембраною чутливої мішені може безпосередньо залежати від їх заряду. Зазвичай, кілер-токсини мають позитивний заряд, тоді як плазматична мембрана чутливих клітин заряджена негативно, завдяки цьому токсини можуть мати певну спорідненість зі вторинними рецепторами, що сприятиме їх адсорбції на цільовій мембрані чутливих клітин. З цього можна зробити висновок, що мікроорганізми з більш негативно зарядженою мембраною будуть більш сприйнятливі до дії кілер-токсинів. Таким же чином токсини, що матимуть більш позитивно заряджені амінокислотні залишки, проявлятимуть сильнішу вбивчу дію проти чутливих клітин. Такого ефекту можна досягти завдяки мутаціям клонованого гену кілер-токсинів (Liu, 2015; Schmitt, & Breinig, 2006).

Після зв'язування з вторинними рецепторами кілер-токсини потрапляють у чутливі клітини та знищують їх за допомогою різних механізмів. До них відносять пошкодження цитоплазматичної мембрани: після досягнення мембрани деякі токсини чинять летальний ефект шляхом утворення іонних каналів з подальшим порушенням цілісності і функцій мембрани, при цьому спостерігається вивільнення калій йодиду, АТФ та інших метаболітів; пригнічення синтезу ДНК та блокування клітинного циклу. Відомо, що токсин K28 проникає в чутливу дріжджову

клітину шляхом ендоцитозу та проходить шлях секреції у зворотному напрямку, після чого потрапляє в цитозоль і передає свій токсичний сигнал у ядро дріжджової клітини, в результаті спостерігається пригнічення реплікації ДНК, яке спричиняє зупинку клітинного циклу на ранній S-фазі; атака тРНК: кілер-токсин *Pichia inositolovora*, націлений на тРНК, спричиняє блокування трансляції та зупинку клітинного циклу на фазі G1. Крім того, у деяких випадках токсини, в тому числі й кілер-токсин НМ-1 *Hansenula mrakii*, проявляють β -глюканазну активність і можуть перешкоджати синтезу клітинної стінки шляхом інгібування β -1,3-глюкансинтази або гідролізу основних компонентів клітинної стінки чутливих клітин, що призводить до лізису клітини (Mannazzu, 2019; Liu, 2015).

Незважаючи на одноклітинний спосіб життя дріжджів, відомо, що деякі з них піддаються програмованій клітинній смерті за різних умов, включаючи вплив екзогенних та ендогенних стресів (Carmona-Gutierrez, 2010). Одним з механізмів дії кілер-токсинів є здатність індукувати програмовану клітинну смерть у чутливих штамів клітин, що проявляється типовими цитологічними маркерами апоптозу, такими як фрагментація ДНК, конденсація хроматину, вплив фосфатидилсерину на зовнішню поверхню плазматичної мембрани, накопичення активних форм кисню (АФК) та фенотипічні зміни. При цьому важливим є те, що апоптотична загибель клітин була викликана низькими дозами кілер-токсинів, тоді як високі концентрації токсинів запобігають апоптозу та викликають некротичну загибель клітин за допомогою різних токсичних стратегій, розглянутих вище. Ґрунтуючись на всіх цих спостереженнях, можна зробити висновок, що в природному середовищі існування дріжджів, де концентрація токсину, зазвичай, низька, індукція апоптозу відіграє вирішальну роль в ефективному токсин-опосередкованому знищенні клітин (Schmitt, & Breinig, 2006; Klassen, Schaffrath, Buzzini, & Ganter, 2017).

Характеристика кілер-токсинів. Кілер-токсини Saccharomyces cerevisiae. Вперше кілерний фенотип був досліджений у дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* у 1963 р. Беваном та Маковером. На конференції в Нідерландах були описані антагоністичні взаємодії між штамми *S. cerevisiae* і потенційними конкурентами на основі виділених токсинів (Klassen, Schaffrath, Buzzini, & Ganter, 2017). Саме тому на сьогодні найбільш вивченими вважаються кілер-токсини, продуцентами яких є дріжджі *S. cerevisiae*.

Ґрунтуючись на деяких кілерних характеристиках, таких як молекулярна структура та механізм знищення чутливих клітин, токсини *S. cerevisiae* були розділені на чотири типи: K1, K2, K28 та Klus (Rodríguez-Cousiño, 2011). Після проведення початкових досліджень феномена кілера в деяких родів дріжджів було встановлено, що за експресію фенотипу кілера можуть відповідати позахромосомні вірусоподібні дволанцюгові РНК (дцРНК), також фенотип-кілер може кодуватись хромосомними генами чи лінійними плазмідами дволанцюгових ДНК (Becker, & Schmitt, 2017). Відомо, що кілерний фенотип у *S. cerevisiae* викликають два окремо інкапсульовані віруси дцРНК сімейства *Totiviridae*, такі як LA та його сателітний вірус M, які постійно присутні в цитоплазмі інфікованих дріжджових клітин у вигляді вірусоподібних часток (Orentaite, Poranen, Oksanen, Daugelavicius, & Vamford, 2016; Gier, Schmitt, & Breinig, 2017). LA являє собою хелперний вірус довжиною 4,6 кб. Лінійний геном LA має дві відкритих рамки зчитування на кодуєчому ланцюзі, ORF1 та ORF2. Основний капсидний білок Gag масою 76 кДа

кодується ORF1 та необхідний для правильної інкапсуляції дцРНК і утворення необхідної структури вірусоподібних часток. ORF2 кодує РНК-залежну-РНК-полімеразу (Pol), яка транслюється як сумісний білок Gag-Pol з молекулярною масою 180 кДа, який забезпечує транскрипцію та реплікацію вірусу (Becker, & Schmitt, 2017). Отже, вірус M є неавтономним і як класичний сателіт потребує присутності хелперного вірусу LA для стабільної підтримки та реплікації в цитоплазмі клітини-господаря (Gier та ін., 2020).

Залежно від типу токсину, що кодується, віруси M поділяються на M1, M2, M28 і Mlus розміром 1,6, 1,5, 1,8 та 2,2 кб відповідно. Відомо, що чотири геноми M, які кодують відповідний специфічний токсин, не зустрічаються в одній клітині одночасно, виключаючи один одного за допомогою невідомого механізму (Gier, Schmitt, & Breinig, 2017). Тільки один ланцюг (позитивний) M-вірусу володіє кодуючою здатністю і містить єдину відкриту рамку зчитування (ORF), яка кодує препротоксин. Також вважається, що цей вірус бере участь у забезпеченні імунітету клітини-продуцента до власного токсину, проте ця теорія ще не підтверджена (Becker, & Schmitt, 2017).

Отже, первинним генним продуктом дцРНК є препротоксин — білок, який є непроцесованим попередником зрілого токсину та має пройти певний секреторний шлях для подальшого процесингу з метою отримання необхідного кілера. Серед кодованих вірусом токсинів-кілерів *S. cerevisiae*, білки K1 та K28 є найбільш вивченими. Хоча обидва токсини значно відрізняються за своїм амінокислотним складом і молекулярним способом дії, проте вони є досить подібними за механізмами їх синтезу, процесингу та секреції, а тому і будова їх препротоксинів дуже подібна (Giesselmann, Becker, & Schmitt, 2017). Так, попередник складається з N-кінцевої сигнальної послідовності, необхідної для імпорту білка в просвіт ендоплазматичного ретикулума, за яким розташовані дві субодиниці зрілого токсину — альфа і бета. Ці субодиниці відокремлені між собою за допомогою N-глікозилізованої гама-послідовності, яка, ймовірно, сприяє правильній укладці попередника й утворенню дисульфідних зв'язків між альфа- та бета ділянками. Після проникнення в ендоплазматичний ретикулум, сигнальний пептид видаляється шляхом розщеплення сигнальною пептидазою, далі відбувається N-глікозилування гама-послідовності з утворенням одинарного дисульфідного зв'язку для токсину K28 та потрійного — для білку K1. В подальшому попередник транспортується до апарату Гольджі, де піддається додатковим стадіям процесингу за участю пептидаз Kex1p та Kex2p. У результаті отриманий зрілий токсин, що складається з альфа та бета субодиниць, з'єднаних ковалентним зв'язком, секретується в позаклітинний простір (Rodríguez-Cousiño, 2011; Becker, & Schmitt, 2017; Gier, 2019). Токсин K2 не був охарактеризований так широко, як два попередні, проте вважається, що його попередник не містить N-глікозилізованої гама-послідовності, оскільки припущено, що зрілий токсин складається лише з однієї субодиниці (Comitini, Mannazzu, & Ciani, 2009).

Зі структурної точки зору всі відомі нині токсини-кілери можна згрупувати у три класи: невеликі білки з однією субодиницею, гетеродимерні білки та мультидимерні білкові комплекси. Так, зрілий токсин K1 є гетеродимерним білком і складається з двох субодиниць: α з молекулярною масою 9,5 кДа та β з молекулярною масою 9 кДа. Токсин K2 являє собою білок з молекулярною масою

21,5 кДа. Білок K28, що виділяється дріжджами *S. cerevisiae*, має дві субодиниці — α (10,5 кДа) та β (11 кДа) (Klassen, Schaffrath, Buzzini, & Ganter, 2017).

Незважаючи на те, що будова препротоксину екзометаолітів K1 та K28 подібна, механізм їх дії значно відрізняється. Так, токсин K1 першочергово зв'язується з β -1,6-глюканом на клітинній стінці рН-залежним чином, після цього K1 взаємодіє з рецепторним білком Krel на плазматичній мембрані, викликаючи утворення іонних каналів або альтернативно активує калієві канали Tok1. Ця стадія є енергозалежною і приводить до неконтрольованого витоку K^+ , H^+ та АТФ з цитоплазми, що інгібує транспорт амінокислот і порушує електрохімічні іонні градієнти через плазматичну мембрану. Подібний механізм дії передбачається й для токсину K2 (Orentaite, Poranen, Oksanen, Daugelavicius, & Vamford, 2016). Натомість кілер-токсин K28 зв'язується з α -1,3-манопротеїном як первинний рецептор, після цього відбувається його взаємодія з мембранним рецептором Erd2p з подальшим проникненням у клітину шляхом ендоцитозу, там токсин паразитує на ретроградному секреторному шляху. Після транслокації кілер-токсина з ендоплазматичного ретикулуму в цитозоль, β -субодиниця піддається протеасомній деградації, тоді як α -субодиниця проникає в ядро і викликає зупинку клітинного циклу та блокування синтезу ДНК (Gier, Schmitt, & Breinig, 2017; Giesselmann, Becker, & Schmitt, 2017). Кілер-токсин Klus було ідентифіковано нещодавно, тому механізм його дії ще достеменно не вивчено (Orentaite, Poranen, Oksanen, Daugelavicius, & Vamford, 2016).

Активність більшості токсинів *S. cerevisiae* є стабільною у вузькому діапазоні рН (3,5—5,0) та температури (18—28 °С) та значно знижується з підвищенням зазначених показників (Rodríguez-Cousiño, 2011; Soares, & Sato, 2000). Узагальнені дані щодо характеристики відомих типів кілер-токсинів *Saccharomyces cerevisiae* наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Характеристика кілер-токсинів S. cerevisiae

Тип токсину	Молекулярна структура	Первинні рецептори	Вторинні рецептори	Механізм знищення чутливих клітин
K1	Гетеродимерний білок, що складається з двох субодиниць: α (9,5 кДа) та β (9 кДа)	β -1,6-глюкан	Мембранний рецептор Krel	Мембранна пермеабілізація
K2	Білок, представлений однією субодиницею молекулярною масою 21 кДа	β -1,6-глюкан	Не досліджено	Мембранна пермеабілізація
K28	Гетеродимерний білок, що складається з двох субодиниць: α (10,5 кДа) та β (11 кДа)	α -1,6-манопротеїн	Мембранний рецептор Erd2p	Пригнічення синтезу ДНК і блокування клітинного циклу
Klus	Не досліджено			

Як уже зазначалось, відносно нещодавно було ідентифіковано кілер-токсин Klus, який було виділено вперше з винних дріжджів виноградників в Іспанії. Було встановлено, що продуценти цього токсину здатні спричиняти загибель інших дріжджів *S. cerevisiae*, які секретують токсини типу K1, K2 та K28. Такі дані були поштовхом до пошуку нових кілерних токсинів дріжджів *S. cerevisiae*, і не тільки,

які володіють раніше не описаними властивостями. З цією метою з різноманітних ягід і фруктів було виділено нові штами *S. cerevisiae* Кх, здатні синтезувати, на думку науковців, раніше невідомий кілер-токсин. Така думка склалась тому, що виділений токсин у незначних концентраціях здатен пригнічувати штами-продуценти токсинів К1, К2 та К28, крім того, спостерігалось, що форма зон лізису була спотворена, а дія токсинів К1, К2 і К28 — пригнічена. Це підтверджує, що штаму Кх, який володіє слабкими кілерними властивостями, пригнічує стандартну дифузію токсинів *S. cerevisiae* в середовище та їх вбивчу здатність. У випадку стандартних взаємодій токсинів-кілерів таке явище ніколи не спостерігалось. Також з клітин було виділено дцРНК, яка за будовою була подібна до таких в інших штамів, проте розмір вірусу М складав 2,5 кб, що й свідчило про відмінність кодованого токсину. Проте такі відкриття потребують подальших, більш детальних досліджень (Melvydas, Bružauskaitė, Gedminienė, & Šiekštelė, 2016; Melvydas, Serviene, Cernishova, & Petkuniene, 2007).

Кілер-токсини, синтезовані іншими видами дріжджів. Незважаючи на те, що кілер-токсини *S. cerevisiae* вважаються найбільш вивченими, з моменту першого відкриття кілерного фенотипу у дріжджів відмінних видів і родів було проведено ряд досліджень з метою виділення та характеристики їхніх токсинів-екзометаболітів, які відрізняються за молекулярною масою, механізмами дії та умовами, за яких проявляють максимальну активність і стабільність.

Так, здатність синтезувати кілер-токсини була виявлена у дріжджів *Schwanniomycetes occidentalis*. Основною метою дослідження (Chen, Han, Jong, & Chang, 2000) було проведення ідентифікації отриманого токсину та встановлення оптимальних умов його активності та стабільності. Результати показали, що отриманий токсин є гетеродимерною молекулою та складається з двох субодиниць з молекулярною масою 7,4 та 4,9 кДа. Кілерна активність токсину повністю втрачалась після інкубування його з папаїном і пепсином, що підтверджувало білкову природу синтезованого екзометаболіту. Найвища активність токсину спостерігалась при рН 4,2—4,8. Білок-кілер був стабільним у діапазоні рН від 2,0 до 5,0 протягом щонайменше 8 годин. 50% активності втрачалось протягом 8 год при рН 5,0 та температурі 24 °С. Повна втрата активності спостерігалась при рН 6,0. Також білок залишався стабільним при 20 та 30 °С протягом 8 год, натомість при 40 °С повністю інактивувався впродовж 1 години. Також було визначено, що фенотип кілера в цього продуцента є хромосомно закодованим, а первинним рецептором на клітинній стінці чутливих клітин може виступати манан.

Кілер-токсин *Pichia kudriavzevii* RY55 складається з однієї субодиниці, молекулярна маса якої складає 39,8 кДа. Очищений токсин виявляв максимальну активність при температурі 30 °С та рН 5,0, однак значну активність спостерігали також при 20, 25 і 37 °С та рН 4,6 і 7. Аналіз температурної стабільності екзометаболіту показав, що токсин є абсолютно стабільним за температури 4 °С протягом 60 днів. Понад 90% активності зберігалось при 20 °С протягом 24—48 годин. Хороша стабільність спостерігалась при 30 °С, проте досить короткі періоди часу (15—30 хв). За температури вище 50 °С активність токсину не була виявлена. Аналіз рН стабільності продемонстрував, що токсин є стабільним у широкому діапазоні рН (2—6), але протягом початкових 15—30 хв інкубації. Також було проаналізовано вплив різних добавок на активність очищеного токсину. Так, Mn^{2+} ,

Fe^{2+} і Zn^{2+} викликали значне зниження активності, тоді як ЕДТА та SDS повністю інгібують вбивчу активність кілера (Bajaj, Raina, & Singh, 2013).

Також були проведені дослідження, щоб охарактеризувати кілер-токсин K-500, продуцентом якого є дріжджі *Williopsis mrakii* NCYC 500. Аналіз показав, що молекулярна маса токсину коливається в межах 1,8—5 кДа, що значно менше, ніж для будь-якого іншого токсину, про який повідомлялося раніше. Встановлено, що отриманий токсин залишався стабільним при температурі 4 °C протягом 24 год, натомість стабільність знижувалась при підвищенні температури інкубації і повністю втрачалась протягом 7—24 год за температури 37 °C. Інактивація токсину спостерігалась за температури вище 50 °C та рН вище 4,0, проте токсин залишався стабільним протягом 18 год у діапазоні рН 2,4—4,0. Точний механізм дії кілер-токсину K-500 щодо чутливих клітин ще невивчений, проте існують деякі припущення, що токсин утворює канали, сприяючи втраті іонів, що зрештою призводить до загибелі чутливих мікроорганізмів. Аналіз пошкодження мембрани в дослідженні (Hodgson, Button, & Walker, 1995) продемонстрував, що екзометаболіт K-500 дійсно порушує проникність мембрани чутливих дріжджів, викликаючи вивільнення радіоактивної міченої амінокислоти. А отже, це може свідчити, що його механізм подібний до такого у токсину K1.

У дослідженні (Buzzini, Corazzi, Turchetti, Buratta, & Martini, 2004) зазначається, що кілер-токсин KT4561, який синтезується дріжджами *Williopsis saturnus* DBVPG 4561, має молекулярну масу близько 62 кДа. Виявлено, що очищений токсин, на відміну від інших, є активним у межах широкого діапазону температур (5—45 °C) та рН (4,5—8,0). Крім того, після теплового шоку при 100 °C протягом 10 хв активність токсину лише незначно знизилась. Такі дані зацікавили науковців, адже це один з небагатьох токсинів, який є активним при фізіологічних для людського тіла значеннях рН та температури, тому подальші дослідження були присвячені вивченню його антимікробних властивостей.

Визначено, що деякі штами морських дріжджів також здатні синтезувати кілер-токсини, винятком не є і дріжджі *Williopsis saturnus* WC91-2 морського походження, у яких кілерний фенотип закодований хромосомними генами. Молекулярна маса очищеного токсину за даними SDS-PAGE оцінювалась в 11 кДа. Після вивчення впливу різних значень температури, рН на активність і стабільність кілер-токсину, було встановлено, що оптимальним для кілерної активності є рН 3,5 та температура 16 °C. При цьому токсин залишався стабільним при рН 3,0—4,0 та температурі нижче 35 °C. Кілерна активність повністю втрачалась за температури 40 °C та рН вище 4,0. Такі дані показують, що цей токсин є досить чутливим до високої температури і холодоактивним (Wang та ін., 2012).

Галотолерантні дріжджі *Debaryomyces hansenii* CYC 1021 та *Debaryomyces hansenii* DSMZ70238 також здатні виділяти кілер-токсини, які кодовані хромосомними генами та належать до низькомолекулярних білків з молекулярною масою близько 23 кДа. Дослідження кілер-токсину *Debaryomyces hansenii* DSMZ70238 були спрямовані переважно на вивчення його антимікробної активності, тоді як кілер-токсини *Debaryomyces hansenii* CYC 1021 були більш широко охарактеризовані щодо умов їх активності та стабільності. Так, при температурі 15 °C і нижче активність токсину залишалась стабільною протягом тижня, тоді як

інкубація за температури 20 °С протягом п'яти днів призводила до значного зниження активності на 25%. За витримування токсину при температурі 30 °С і рН 4,0 протягом 24 год більше половини активності було втрачено. Оптимальними для токсину були кислі значення рН, тобто він залишався стабільним при рН 4,5 та нижче, натомість при рН 5,1 спостерігалась його інактивація. Стосовно механізму дії токсинів *D. hansenii* відомо лише, що первинним рецептором для них виступає β-1,6-глюкан (Al-Qaysi, Al-Haideri, Thabit, Al-Kubaisy, & Ibrahim, 2017; Marquina, Barroso, Santos, & Peinado, 2001).

Високу здатність виробляти кілер-токсини мають дріжджі *Wickerhamomyces anomalus*. Зокрема, штам морського походження *W. anomalus* YF07b, виділений з кишківника асцидії, продукує кілер-токсин з молекулярною масою 67 кДа, для якого оптимальною є температура 16 °С та рН 3,5. Токсин залишався стабільним за температури нижче 40 °С, при її підвищенні активність токсину різко знижувалась до повної втрати при 50 °С. Також кілер-токсин залишався стабільним за рН нижче 6,5. Позитивно на активність екзометаболіту впливала присутність у середовищі NaCl в концентрації 4,0%. При дослідженні механізму дії результати показали, що ламінарин (β-1,3-глюкан), манан і хітин не розщеплюються кілер-токсином, це свідчить, що основним первинним рецептором у клітинній стінці чутливих клітин може виступати β-1,6-глюкан. Також встановлено, що основним механізмом знищення мікроорганізмів цими токсинами є пошкодження плазматичної мембрани чутливих клітин. Це свідчить, що за механізмом дії даний білок є подібним до токсину K1 (Guo, Ma, Xu, Wang, & Chi, 2013).

Також у дослідженні (Tay, Lim, & Tan, 2014) було охарактеризовано мікоцин *W. anomalus* tp12-5 (див. табл. 2).

Дріжджі *Metschnikowia saccharicola* продукують кілер-токсин, який являє собою мономерний білок з молекулярною масою 47 кДа. Властивості токсину стосовно активності та стабільності були подібні до таких у токсинів *W. anomalus* YF07b. Механізм дії цього токсину пов'язаний з первинною дією на рецептори клітинної стінки чутливих мікроорганізмів (Tan та ін., 2018).

Феномен кілера у дріжджів *Pichia membranifaciens* вивчався протягом декількох років. За цей період було описано два токсини РМКТ та РМКТ2, що продукуються штамми *P. membranifaciens* СУС 1106 та *P. membranifaciens* СУС 1086 відповідно. Синтезовані токсини являють собою білки з низькою молекулярною масою — 18 кДа для токсину РМКТ та 30 кДа для токсину РМКТ2. Механізм дії цих токсинів щодо чутливих мікроорганізмів також був детально вивченим. Так, кілер РМКТ першочергово зв'язується з β-1,6-глюканом, розташованим на поверхні клітинних стінок чутливих клітин, при цьому адсорбція токсину на очищених глюканах відбувалась протягом перших двох хвилин контакту, що підтверджує енергонезалежність цього процесу. Вторинним рецептором для дії токсину слугує білок Cwp2p. Нарешті, досягнувши цитоплазматичної мембрани, кілер-токсин спричиняє її руйнування з подальшим утворенням катіонних каналів і порушенням трансмембранних градієнтів, що призводить до загибелі чутливих клітин. Натомість механізм дії токсину РМКТ2 дещо відрізняється, так первинним рецептором для нього слугує манопротейн. На сьогодні досі невідомо, що виступає вторинним рецептором для токсину РМКТ2, а тому дослідження для його встановлення ще продовжуються. Знищення чутливих клітин відбувається шляхом

зупинку їх клітинного циклу у фазі G1/S. Незважаючи на відмінності в молекулярній масі та механізмах дії, обидва кілер-токсини подібні у своїй поведінці при різних значеннях температури та рН. Так, токсин РМКТ був стабільний у діапазоні рН 3,0—4,8 та швидко інактивувався за температури вище 20 °С. РМКТ2 мав фізико-хімічні властивості, подібні з РМКТ, тобто він був активний за кислих значень рН від 2,5 до 4,8 і за температури нижче 20 °С, проте цей токсин є менш лабільним при більш високих температурах і нейтральних значеннях рН протягом коротких періодів часу. Такі, хоч і незначні відмінності вказують на їх біохімічну різноманітність (Belda, Ruiz, Alonso, Marquina, & Santos, 2017).

Узагальнена характеристика всіх представлених кілер-токсинів наведена в табл. 2.

Таблиця 2. Характеристика кілер-токсинів, синтезованих різними видами дріжджів

Продуцент	Молекулярна маса токсину, кДа	Стабільність кілер-токсину		Джерело
		рН	температура, °С	
<i>P. kudriavzevii</i> RY55	38,9	5,0	4 (60 днів)	Bajaj, Raina, & Singh, 2013
<i>S. occidentalis</i> ATCC4425	4,9; 7,4	2,0—5,0	20—30	Chen, Han, Jong, & Chang, 2000
<i>W. mrakii</i> NCYC 500	1,8—5	2,4—4,0	4, вище 50 — інактивується	Hodgson, Button, & Walker, 1995
<i>W. saturnus</i> DBVPG 4561	62	4,5—8	5—45	Buzzini, Corazzi, Turchetti, Buratta, & Martini, 2004
<i>W. saturnus</i> WC91-2	11	3,0—4,0	<35	Wang та ін., 2012
<i>D. hansenii</i> CYC 1021	22	4,0—4,5	15	Marquina, Barroso, Santos, & Peinado, 2001
<i>W. anomalus</i> YF07b	67	<6,5	<40	Guo, Ma, Xu, Wang, & Chi, 2013
<i>W. anomalus</i> tp12-5	45—50	3,0—6,0	4—37	Tay, Lim, & Tan, 2014
<i>P. membranifaciens</i> CYC 1106	18	3,0—4,8	20	Belda, Ruiz, Alonso, Marquina, & Santos, 2017
<i>P. membranifaciens</i> CYC 1086	30	2,5—4,8	<20	Belda, Ruiz, Alonso, Marquina, & Santos, 2017
<i>M. saccharicola</i>	47	4,0—6,5	0—40	(Tan та ін., 2018)

Особливості отримання та визначення активності кілер-токсинів щодо патогенних мікроорганізмів. На сьогодні дріжджові кілер-токсини викликають значний інтерес завдяки тому, що володіють широким спектром активності щодо мікробних патогенів, здатних спричиняти захворювання людей, тварин і рослин. Це, у свою чергу, проковує проведення ряду досліджень з метою встановлення можливості потенційного використання кілер-токсинів у медичній галузі та інших перспективних напрямках, зокрема у фармацевтичній промисловості (Giovati, Ciocciola, De Simone, Conti, & Magliani, 2021; Mannazzu та ін., 2019).

Багато хвороб морських тварин спричиняються морськими бактеріями та вірусами, проте протягом останніх років було встановлено, що й деякі види дріжджів є патогенними для морських тварин. Такі дріжджові захворювання спричиняють великі економічні втрати в морській промисловості, тому необхідним є пошук методів і речовин для боротьби з ними. Було встановлено, що молочну хворобу у краба викликають дріжджі *Metschnikowia bicuspidate*. Спалах цього захворювання призвів до високої смертності краба та великих економічних втрат. При цьому всі використовувані традиційні протидріжджові сполуки — ністатин, бензалконію бромід і екстракт кореня золотухи та часнику були активними щодо патогенних дріжджів, проте виявились токсичними й для самого краба. Виходом з цієї ситуації може слугувати використання кілер-токсинів як альтернативних засобів (Wang, Yue, Chi, & Wang, 2008; Tan та ін., 2018).

Основна мета дослідження (Wang, Yue, Chi, & Wang, 2008) полягала в тому, щоб виявити серед дріжджів морського походження штами, здатні до синтезу кілер-токсину з антимікробною активністю, аби в подальшому використати отримані знання для розробки ефективного засобу, спрямованого на запобігання зараженню краба патогенними дріжджами. В результаті було встановлено, що 17 штамів морських дріжджів, які були виділені з морської води, осадів, солончакового мулу, кишківника морських риб і морських водоростей, здатні синтезувати кілер-токсини, активні проти *M. bicuspidate* WCY. Після висіву досліджених морських дріжджів на середовище, попередньо засіяне патогенним мікроорганізмом, найвищою антимікробною активністю, яка визначалася за відношенням діаметра зони до діаметра колонії та перевищувала значення 1,5, володіли п'ять штамів: *Williopsis saturnus* WC91-2, *Pichia guilliermondii* GZ1, *Pichia anomala* YF07b, *Debaryomyces hansenii* hcx-1, *Aureobasidium pullulans* HN2.3. Такі дані свідчать, що серед усіх штамів, ізольованих з морського середовища, саме п'ять були здатні виробляти відносну більшу кількість кілер-токсину проти патогенних дріжджів *M. bicuspidate* WCY.

Деяких вчених зацікавив штам *Williopsis saturnus* WC91-2, зокрема його здатність синтезувати високий рівень кілер-токсинів. Були визначені оптимальні умови культивування морського штаму, проте основною метою проведеного дослідження було визначення активності отриманих концентратів кілер-токсину. Вбивчу активність екзометаболіту вимірювали за допомогою дифузійного тесту з використанням стерильних оксфордських чашок діаметром 6 мм, які розміщували на середовищі для аналізу, що було засіяне відповідними тест-штамами дріжджів (*M. bicuspidate* WCY, *Cryptococcus aureus*, *Lodderomyces elongisporus*, *Candida albicans*, *Candida tropicalis*, *Yarrowia lipolytica*, *Rhodotorula mucilaginosa*). Після цього в кожену чашку додавали 200 мкл концентрованого або очищеного кілер-токсину та інкубували при 16 °C протягом 72 годин. За міру активності приймали діаметр зони інгібування чутливих штамів. За результатами було встановлено, що кілер-токсин, окрім дії на *M. bicuspidate* WCY, проявляв активність й проти *Cryptococcus aureus*, *Lodderomyces elongisporus*, *Candida albicans*, *Candida tropicalis*, *Yarrowia lipolytica*, що свідчить про досить широкий спектр його активності (Wang та ін., 2012).

Дещо пізніше було встановлено, що ще один штам морських дріжджів, зокрема *Metschnikowia saccharicola* DD21-2, здатен синтезувати кілер-токсин, який володіє антимікробною активністю щодо патогенного для краба штаму *M. Bicuspidate* WCY. Метою проведеного дослідження (Tan та ін., 2018) є оптимізація

процесу ферментації для отримання максимального виходу токсина-кілера. Було використано статистичний підхід для оцінки зв'язку між вимірюваними параметрами — температурою та часом ферментації, значенням рН, концентрацією внесеного інокуляту, які в подальшому впливали на активність синтезованого токсину, що вимірювалась діаметром зони інгібування відносно патогенного *M. Bicuspidate* WCY. Результати показали, що оптимальними були такі умови ферментації: час — 54 год, рН — 5,5, температура — 27,5 °C концентрація інокуляту — 4%. Після визначення активності, середній діаметр зон інгібування за таких умов складав 1,43 см. При цьому зона інгібування лінійно зменшувалась при підвищенні температура та рН вище вказаних значень, що вкотре підтверджує залежність між впливом умов культивування на активність кілер-токсинів. Отримані дані можуть слугувати основою для подальших досліджень з профілактики та боротьби із захворюванням краба.

Sporothrix schenckii, *S. brasiliensis*, *S. globosa*, *S. mexicana* — це комплекс видів дріжджів, що є етіологічними агентами споротрихозу, який може вражати як людей, так і тварин. Хоча для лікування цього захворювання й існують ефективні препарати, проте довга тривалість терапії та їх токсичність зумовлюють необхідність пошуку нових альтернатив для лікування. З цією метою було оцінено дію 18 видів дріжджів, здатних до синтезу кілер-токсинів, на ріст 88 ізолятів комплексу видів *Sporothrix*. Найбільшими зонами інгібування проти 74% ізолятів *Sporothrix*, що склали 19,0 мм, 18,6 мм та 18,5 мм, характеризувались кілер-токсини *Kazachstania unispora* QU49, *Trichosporon faecale* QU100, *T. japonicum* QU139, відповідно. Отже, значна кількість дріжджів *Sporothrix* є чутливою до дії кілер-токсинів, що робить їх потенційно корисними для розробки нових протигрибкових засобів (Stopiglia та ін., 2014).

Останніми роками значно зросла кількість інвазивних опортуністичних грибкових інфекцій, викликаних дріжджами роду *Candida*, зокрема видами *Candida albicans* та деякими не-*albicans* видами *Candida* (*C. glabrata* і *C. krusei*). За звичних умов ці дріжджові гриби є частиною нормальної мікробіоти у людей і тварин, проте за певних порушень захисних механізмів хазяїна, що супроводжуються зниженням імунітету, види *Candida*, набуваючи патогенного характеру, викликають захворювання — кандидемії, починаючи від поверхневих слизових до небезпечних для життя системних інфекцій. Занепокоєння через поширення випадків захворюваності росте в результаті виявлення резистентності деяких видів до протигрибкових засобів, зокрема до азолів. Тому виникла необхідність у пошуку нових сполук, здатних ефективно пригнічувати дріжджі виду *Candida*. До таких було запропоновано віднести кілер-токсини, що володіють широкою антикандидозною активністю, яка досліджувалась протягом тривалого часу (Radhamany, Rao, & Kotigadde, 2019; Banjara, Nickerson, Suhr, & Hallen-Adams, 2016).

Дріжджі *Debaryomyces hansenii* є одними з найпоширеніших видів дріжджів, що виділяються із сирів, завдяки своїй здатності рости у присутності високого вмісту солі. Вважається, що ці дріжджі утворюють монофілетичну групу з патогенними для людини видами *Candida*, окрім *C. glabrata*, проте існують припущення, що *D. hansenii* також здатен пригнічувати умовно-патогенні штами завдяки синтезу антикандидозних кілер-токсинів. Для підтвердження цього з 20 різних сирів було виділено 42 штами *D. hansenii*, активність мікоцину кожного штаму

оцінювали проти людських клінічних ізолятів *C. albicans* та *C. tropicalis* методом дифузії на агарі зі штриховими пластинками. Розвиток чіткої зони інгібування навколо колоній *D. hansenii* вважався позитивним показником активності токسينу. В результаті було відібрано три штами, що володіли кілерною активністю: *D. hansenii* 274, *D. hansenii* 237, *D. hansenii* 65. Активність синтезованих токسينів визначали шляхом внесення мікоцинів у лунки, вирізані в агарі, який попередньо був засіяний чутливими штамами *Candida*. Результати продемонстрували, що чутливість *C. albicans* та *C. tropicalis* значно відрізнялась при різних значеннях рН та температури. *C. tropicalis* був більш чутливий до мікоцинів *D. hansenii* при нижчих температурах, тоді як *C. albicans* виявляла чутливість при більш високих температурах. Такі дані є важливими і мають бути враховані при подальших дослідженнях використання кілер-токسينів як антикандидозних засобів (Banjara, Nic-kerson, Suhr, & Hallen-Adams, 2016).

За статистикою, вульвовагінальний кандидоз вражає кожен другу жінку у всьому світі у певний момент її життя, спричиняючи значні страждання та економічні втрати. Дріжджі *Candida glabrata* досить часто є збудниками такого захворювання. Використання протигрибкових засобів не завжди полегшує стан за рахунок розвитку в патогенів резистентності до препаратів. Це вимагає досліджень нових терапевтичних засобів, які діють при нормальному кислому рН статевих органів. Як зазначалось вище, дріжджі *C. glabrata* не утворюють монофлієтичну групу з *D. hansenii*, оскільки більш тісно пов'язані з дріжджами *S. cerevisiae*, що також здатні синтезувати кілер-токсини, які є оптимально активними в кислих умовах. Саме завдяки подібності в будові клітинних стінок *C. glabrata* та *S. cerevisiae* було припущено, що токсини *S. cerevisiae* здатні ефективно впливати на рецептори клітин *C. glabrata*, приводячи в результаті до їх загибелі. Для підтвердження цього 53 клінічні ізоляти *C. glabrata* були перевірені на чутливість до дев'яти штамів дріжджів, що експресують відповідні кілер-токсини методом лункового аналізу. Дріжджі з кілерним фенотипом K1 та K2 пригнічували ріст *C. glabrata* на 100% та 96% відповідно, тоді як решта дріжджів були здатні інгібувати менше 33% ізолятів *C. glabrata*. Також на активність були протестовані безпосередньо виділені та частково очищені токсини K1 та K2, які здатні були пригнічувати всі ізоляти *C. glabrata* у найвищій протестованій концентрації. Тобто токсини K1 та K2 можуть бути корисними як нові протигрибкові засоби, які порівняно з азолами, є фунгіцидними, оптимально активними при низькому рН і нетоксичними для клітин людини при фізіологічному рН (Fredericks та ін., 2021).

Дослідження (Tan, & Tay, 2011) було спрямоване на вивчення потенційного застосування кілер-токسينів, що були синтезовані дріжджами, виділеними з об'єктів довкілля, для зменшення й усунення біоплівки *C. albicans*. Фільтратами, отриманими після культивування дріжджів з кілерним фенотипом, обробляли біоплівку штаму *C. albicans* ATCC 90028. Після 48 год впливу культурального фільтрату, проводили визначення метаболічної активності біоплівки. Спостерігалось, що зниження її активності на понад 50% відбувалось після впливу культурального фільтрату дев'яти токسينів-кілерів. Найвищий відсоток — 71,9% зниження метаболічної активності біоплівки продемонстрував культуральний фільтрат ізоляту

Pseudozyma. Проведене дослідження дає підстави для подальшої розробки стратегій використання кілер-токсинів з метою обмеження утворення біоплівки *C. albicans* на медичних інструментах.

Дослідження кілер-токсину *W. saturnus* DBVPG 4561 показало, що KT4561 характеризується широкою антимікотичною активністю щодо патогенних видів *Candida non-albicans*, а саме *C. glabrata*, *C. krusei*, *C. guilliermondii*, які є нечутливими до азольних і полієнових антибіотиків. Крім того, цей токсин залишається активним за фізіологічних значень pH та температури, що відкриває широкі перспективи до його можливого застосування як антикандидозного агента (Buzzini, Corazzi, Turchetti, Buratta, & Martini, 2004).

Увагу вчених привернули також дріжджі *Whickerhamomyces anomalus* та *Torulasporea delbrueckii*, які здатні продукувати токсини WK та ТК відповідно. Було проведено оцінювання їх протигрибкової активності методом лункового аналізу та визначено ефективність подальшого використання очищених токсинів як альтернативних препаратів проти певних патогенних грибів, зокрема *Candida albicans*, *Aspergillus niger* і *Aspergillus flavus*. Хоч результати й показали, що сполука WK проявляла більш високу інгібуючу дію щодо всіх протестованих ізолятів порівняно з ТК, проте це дослідження повною мірою підтверджує медичну важливість двох кілер-токсинів проти патогенних грибів. Варто зазначити, що в дослідженні також було встановлено значний вплив умов культивування продуцентів на активність очищених токсинів. Тому штами *T. delbrueckii* та *W. anomalus* інкубували в середовищі одного складу (бульйон екстракту дріжджового солоду з 2% натрій додеціл сульфатом (SDS)) з різними режимами перемішування мішалки (120, 150, 160, 180, 200) об/хв, значеннями pH (4,5; 5,5; 6,0; 6,5) та температури (15, 20, 25, 30, 37) °C (Abu-Mejdad, Al-Saadoon, Al-Badran, & Minati, 2020).

Наступне дослідження було спрямоване на визначення здатності токсинів WK та ТК інгібувати дріжджі *Candida albicans*, отримані від пацієнта, який страждав на кандидоз шкіри. Для цього суспензію умовно-патогенних дріжджів наносили на поверхню агару та розподіляли шпателем, планшети залишали на 15 хв за кімнатної температури до висихання, після чого робили лунки діаметром 6 мм та вносили в кожну по 100 мкл токсинів-кілерів у концентрації 200 мг/мл та інкубували при 37 °C протягом 24 години. Отримані результати підтвердили високу активність кілеру WK щодо дріжджів *Candida albicans*, адже зона інгібування складала близько 35 мм (Abu-Mejdad, Al-Badran, & Al-Saadoon, 2020).

Штам морського походження *Wickerhamomyces anomalus* YF07b, виділений з кишківника асидії, також має високу здатність виробляти кілер-токсини. Отриманий екзометаболіт очищали та проводили визначення його антимікробної активності за допомогою дифузійного тесту з використанням стерильних оксфордських чашок. Під час дослідження (Guo, Ma, Xu, Wang, & Chi, 2013) було встановлено, що максимальна антимікробна активність токсину *W. anomalus* YF07b спостерігалася при pH 3,5 та температурі 16 °C щодо таких мікроорганізмів: *Yarrowia lipolytica*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Metschnikowia bicuspidata* WCY, *Candida tropicalis*, *Candida albicans* та *Kluyveromyces aestuarii*. Отже, спектр активності цих токсинів був досить широким, проте не виключав дріжджі роду *Candida*.

Також було проведено дослідження з визначення активності мікоцинів *W. Anomalus* з навколишнього середовища щодо штамів *Candida albicans*, виділених з

крові. Було встановлено, що за концентрації 200 мкг/мл максимальний відсоток чутливих штамів складав лише 70%. Натомість при концентрації 400 мкг/мл екстракти мікоцинів WA40M1, WA45M2, WA92M3 продемонстрували певну активність, відповідно, 96,6%, 96,6% та 90% штамів *C. albicans* виявились чутливими. Крім того, визначено, що виділені мікоцини не є токсичними для клітин людини. Ці властивості свідчать про те, що мікоцини *W. anomalous* є потенційними кандидатами для розробки нових протигрибкових препаратів (Paris, Persel, Serafin, de Cássia Garcia Simão, & Gandra, 2016).

Отже, зважаючи на антимікробну активність токсинів *W. anomalous* щодо патогенних дріжджів *Candida*, їх можна розглядати як альтернативні протигрибкові засоби. З огляду на це було проведено ряд досліджень для виявлення найбільш оптимального продуцента, здатного синтезувати токсин з найвищою антикандидозною активністю.

Як такий продуцент був запропонований штам *W. anomalous* tp2-15, проте отриманий токсин продемонстрував досить вузький спектр активності, націлений тільки на *C. mesorugosa*, тому пошуки продуцента продовжуються далі (Tay, Lim, & Tan, 2014).

Також вчені досліджували кілер-токсин Wa1F1-КТ, продуцентом якого є штам *W. anomalous* 1F1. Зокрема, була визначена його антимікробна активність щодо чутливих і стійких до флуконазолу клінічних ізолятів і лабораторних штамів *Candida albicans* та *C. glabrata*. Після культивування продуценту отриманий токсин очищали та визначали його активність методом лункового аналізу, вносячи в кожну лунку, діаметром 8 мм, по 40 мкл неочищеного екстракту. Результати показали, що Wa1F1-КТ був активний як до чутливих, так і резистентних до флуконазолу штамів *C. glabrata*, проте справляв інгібувальну дію лише на один, з-поміж усіх досліджуваних, мутантний штам *C. albicans* DSY289, що був стійким до флуконазолу. Отже, Wa1F1-КТ може використовуватися як універсальний засіб проти дріжджів *C. glabrata* (Giovati та ін., 2018).

У наступному дослідженні (Fernández de Ullivari та ін., 2020) було оцінено антикандидозну активність кілер-токсину *W. anomalous* Cf20. У результаті було встановлено, що завдяки синтезу кілер-токсинів з високою активністю дріжджі *Wickerhamomyces anomalous* Cf20, культивування яких проводилося в середовищі з рН 4,5, за температури 25 °С протягом 96 год, та їх безклітинний супернатант пригнічують один колекційний штам *C. glabrata* NCCY 388 та шість клінічних патогенних штамів *Candida* spp., серед яких *C. tropicalis*, *C. krusei* та *C. albicans*. Тож ці сполуки можна використовувати як альтернативу для лікування інфекцій, спричинених дріжджами роду *Candida*.

Крім кандидозів, велику небезпеку сьогодні представляє й таке захворювання, як малярія, що викликається найпростішими паразитами *Plasmodium* та передається комарами *Anopheles*. Була розроблена нова стратегія боротьби з малярією, яка полягала у використанні мікробних симбіонтів для запобігання розвитку паразитів у кишечнику комарів і блокуванні передачі інфекції людині. Як симбіонт було запропоновано дріжджі *Wickerhamomyces anomalous* F17.12, виділені з кишківника комарів роду *Anopheles*, що характеризувалися здатністю до синтезу антимікробного токсину (Carpelli та ін., 2014; Cesariні та ін., 2019).

Метою проведеного дослідження (Valzano та ін., 2016) було визначення можливості токсину *W. anomalous* F17.12 проявляти антиплазмодіальну активність шляхом впливу на спорогонічні стадії малярійного паразита *Plasmodium berghei*. Для отримання кілер-токсинів, дріжджі *W. anomalous* F17.12 культивували в середовищі YPD з рН 4,5, за температури 26 °С, інтенсивності перемішування 70 об/хв протягом 36 годин. Антиплазмодіальну активність очищеного токсину *Wa*F17.12-КТ тестували на культурах спорогонічної стадії *P. berghei* методом біоаналізу з дифузійними лунками, при цьому токсин додавали в чотирьох концентраціях: 25, 60, 75 та 100 мкг/мл. Після інкубування засіяних планшет за температури 19 °С протягом 24 год, проводили оцінювання кілерної активності токсину. Отримані результати свідчать, що за концентрації 100 мкг/мл спостерігалось безперечне інгібування розвитку спорогонічних стадій паразитів до 90%. Тобто це підтверджує, що кілер-токсин здатен впливати на ранні споронгонічні стадії *P. Berghei*, викликаючи пошкодження мембран і загибель паразита.

Такі результати спонукали проведення додаткових досліджень *in vivo* для оцінки антиплазмодіальної активності штаму *Wa* F17.12 на спорогонічні стадії паразита *P. berghei* у комара *An. stephensi*. Кількість паразитів у середній кишці комарів, які отримували цукровий розчин з додаванням *Wa* F17.12, оцінювали через 24 год після зараження. Результати показали, що в комарів, колонізованих *W. anomalous* F17.12, розвивалось на 62% менше паразитів, ніж у контрольній групі, яку годували лише цукровим розчином. Проведені дослідження відкривають нові перспективи для можливого використання токсину-кілера з метою запобігання розвитку малярійного паразита у комарів-переносників, що дасть змогу зменшити захворюваність у людей (Cappelli та ін., 2019).

Антиплазмодіальна активність кілер-токсину, секретованого дріжджами *W. anomalous* F17.12 і їх біологічна спорідненість із самицею комара, є ключовими характеристиками в можливій боротьбі з малярією. Проте впровадження такого продукту та його комерціалізація потребує додаткових випробувань, спрямованих на оптимізацію промислового культивування і зберігання отриманого продукту та оцінку токсичності. В дослідженні (Cappelli, Amantini, Maggi, Favia, & Ricci, I., 2021) було оцінено можливість реактивації росту штаму *W. Anomalous* F17.12 і підтримки активності кілер-токсину після ліофільного висушування. Так, швидкість росту культури *W. anomalous* F17.12 оцінювали через 4, 12, 18, 25, 32 і 60 днів зберігання при кімнатній температурі після сушки виморожуванням шляхом інкубування при оптимальних умовах протягом 36 годин. Встановлено, що швидкість росту штаму, який зберігався у ліофілізованому стані, не відрізнялась від звичайного зразка до 32 діб зберігання, уповільнення було виявлено після 60 діб, проте життєдіяльність продуцента навіть після 4—5 тижнів витримування в ліофілізованому стані була непорушною. Для оцінки збереження кілерної активності супернатант було протестовано щодо чутливого штаму: антимикробна активність кілер-токсину після ліофілізація була незмінною. Оцінку токсичності проводили шляхом дослідження впливу *W. anomalous* F17.12 на клітинні лінії кератиноцитів людини, які являють собою первинний бар'єр людського організму. Обробка різними концентраціями *W. anomalous* F17.12 (1000, 5000, 10000 клітин/мл) протягом

24 та 48 год не чинила цитотоксичного впливу на кератиноцити людини і не впливала на життєздатність людських клітин. Проведене дослідження є своєрідним кроком вперед для комерціалізації штаму-продуценту *W. anomalous* F17.12, пов'язаного з комарами-переносниками, як інноваційного інструменту для запобігання поширенню малярії.

Окрім впливу на чутливі дріжджові та паразитичні клітини, була досліджена й антибактеріальна активність деяких кілер-токсинів.

Staphylococcus aureus — це один із бактеріальних патогенів, що здатен викликати харчові отруєння у людей. М'ясо та інші харчові продукти, заражені *S. aureus*, вважаються небезпечними для здоров'я населення, оскільки цей патогенний мікроорганізм володіє стійкістю до деяких протимікробних препаратів. Метою дослідження (Calazans та ін., 2020) було визначення антимікробної активності мікоцинів *W. anomalous* щодо штамів *S. aureus*, виділених з яловичини, свинини та курятини. Для отримання токсинів штаму *W. anomalous* WA45 інкубували за температури 25 °C протягом 5 діб. Культуральну рідину центрифугували при 6000 об/хв протягом 10 хв для отримання супернатанту, який використовували в тестах визначення антимікробної активності. Модифікований метод дифузії у щільне агаризоване середовище базувався на розділенні стерильної чашки на дві частини, в одну вносили одержаний супернатант, інша — слугувала для контролю. Обидві частини засівали патогенними штамми *S. aureus*. Також для визначення активності використовували метод лункового аналізу з інкубуванням чашок протягом 24 год при 36 °C. В обох тестах спостерігалось повне інгібування бактерій у досить низьких концентраціях — 0,02 од/мг. Це дає підстави для використання кілер-токсинів не тільки як антимікробних засобів, а й нових агентів для біоконтролю і біоконсервації м'яса та інших харчових продуктів.

Acinetobacter baumannii — це грамнегативні, мультирезистентні умовно-патогенні бактерії, що викликають занепокоєння через здатність викликати пневмонію, септицемію, шкірні інфекції, ендокардит, менінгіт тощо в ослаблених пацієнтів. Мета дослідження (Junges та ін., 2020) полягала в тому, щоб оцінити чутливість мультирезистентних клінічних штамів *A. baumannii* до мікоцинів *W. anomalous* WA40, WA45, WA92 та перевірити цитотоксичність отриманих токсинів. Умови культивування та визначення антимікробної активності були подібні до таких у попередньому дослідженні (Giovati та ін., 2018). При цьому мікоцини продемонстрували інгібіторну активність щодо п'ятдесяти штамів *A. baumannii*. Для отримання інформації про цитотоксичність супернатантів з мікоцином було проведено тест на гемоліз еритроцитів і токсичність щодо мікроскопічних ракоподібних *Artemia salina*. Результати показали, що токсини характеризувались низькою гемолітичною дією та відсутністю, на відміну від поліміксину, токсичності щодо *Artemia salina*. Це, у свою чергу, підтверджує перевагу мікоцинів порівняно з деякими антибіотичними речовинами.

Дещо пізніше в дослідженні (Abu-Mejdad, Al-Badran, Al-Saadoon, & Minati, 2020) було встановлено, що, крім протигрибкової, токсини *W. anomalous* та *T. delbrueckii* володіють й антибактеріальною активністю, зокрема щодо бактерій *E. co-*

лі та *Staphylococcus aureus*, при цьому культивування продуцентів і тест на чутливість проводили аналогічно до таких у попередніх дослідженнях (Abu-Mejdad, Al-Badran, & Al-Saadoon, 2020).

Антибактеріальною активність характеризувалися також кілер-токсини, синтезовані дріжджами *P. kudriavzevii* RY55 та *D. hansenii* DSMZ70238. Так, методом лункового аналізу було встановлено, що кілер-токсини *Pichia kudriavzevii* RY55 є активними проти деяких потенційних бактеріальних патогенів, зокрема: *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Klebsiella* sp., *S. aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *P. alcaligenes* (Bajaj, Raina, & Singh, 2013). Дріжджі *D. hansenii* DSMZ70238 також синтезували білкові екзометаболіти з високою токсичною активністю щодо бактеріальних патогенів: *S. aureus*, *E. coli*, *K. pneumonia* та *S. pyogenes*, які мають значення для здоров'я людини. Крім того, дослідження (Al-Qaysi, Al-Haideri, Thabit, Al-Kubaisy, & Ibrahim, 2017) було спрямоване й на вдосконалення умов культивування для отримання кілер-токсину з високою активністю. Зокрема, для покращення вироблення токсину штам *D. hansenii* культивували в аеробних умовах при різних значеннях температури (5—30 °C) та рН (від 3,0 до 6,0). Дослідження показали, що оптимальним є інкубування продуценту в середовищі з низьким значенням рН за температури 25 °C.

Умови культивування продуцентів, що забезпечували б оптимальне виробництво і активність кілер-токсинів та їх антимікробна спрямованість, представлені в табл. 3.

Таблиця 3. Особливості біотехнології та антимікробна активність кілер-токсинів

Продуцент	Умови культивування	Склад поживного середовища, г/л	Антимікробна спрямованість кілер-токсинів	Джерело
1	2	3	4	5
<i>Williopsis saturnus</i> WC91-2	22 °C, 180 об/хв, 72 год, рН=4,5	Середовище YPD: дріжджовий екстракт — 10, пептон — 20, глюкоза — 20, з додаванням NaCl — 20 та гліцерину — 15% (об'ємна частка)	<i>C. albicans</i> , <i>C. tropicalis</i> , <i>Yarrowia lipolytica</i> , <i>Lodderomyces elongisporus</i> , <i>Metschnikowia bicuspidate</i> WCY	Wang та ін., 2012
<i>Williopsis saturnus</i> DBVPG 4561	25 °C, 140 об/хв, 24 год, рН=4,5	Середовище YEPG: дріжджовий екстракт — 10, пептон — 10, глюкоза — 20	<i>Candida glabrata</i> , <i>Issatchenkia orientalis</i> , <i>Pichia guilliermondii</i>	Buzzini, Corazzi, Turchetti, Buratta, & Martini, 2004
<i>Metschnikowia saccharicola</i> DD21-1	27,5 °C, 140 об/хв, 54 год, рН=5,5	Середовище YPD: дріжджовий екстракт — 10, пептон — 20, глюкоза — 20 з внесенням 15% гліцерину та 2% NaCl за об'ємом	<i>Metschnikowia bicuspidate</i> WCY	Тан та ін., 2018

1	2	3	4	5
<i>Debaryomyces hanseni</i> DSMZ70238	25 °С, 130 об/хв, 72 год, рН=4,5	Середовище YPD: дріжджовий екстракт — 10, пептон — 20, глюкоза — 20	<i>C. albicans</i> , <i>C. neoformans</i> , <i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Streptococcus pyogenes</i> , <i>Trichophyton rubrum</i> , <i>T. concentricum</i>	Al-Qaysi, Al-Haideri, Thabit, Al-Kubaisy, & Ibrahim, 2017
<i>T. delbrueckii</i> та <i>W. anomalus</i>	30 °С, 150 об/хв, 72 год, рН=4,5	Середовище YMB: дріжджовий екстракт – 3, солодовий екстракт – 3, пептон – 5, глюкоза – 10 з внесення 2% SDS	<i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus niger</i> і <i>Aspergillus flavus</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i>	Abu-Mejdad, Al-Saadoon, Al-Badran, & Minati, 2020; Abu-Mejdad, Al-Badran, Al-Saadoon, & Minati, 2020
<i>Wickerhamomyces anomalus</i> YF07b	20 °С, 180 об/хв, 72 год	Середовище YPD: дріжджовий екстракт — 10, пептон — 20, глюкоза — 20	<i>C. albicans</i> , <i>C. tropicalis</i> , <i>Y. lipolytica</i> , <i>M. bicuspidate</i> WCY, <i>Kluyveromyces aestuarii</i>	Banjara, Nickerson, Suhr, & Hallen-Adams, 2016
<i>Wickerhamomyces anomalus</i> 1F1	20 °С, 150 об/хв, 72 год, рН=4,6	Середовище YPD: дріжджовий екстракт — 10, пептон — 20, глюкоза — 20 з внесенням 15% гліцерину (за об'ємом)	<i>C. albicans</i> DSY 289, <i>C. glabrata</i> , <i>C. lusitaniae</i>	Giovati та ін., 2018
<i>Wickerhamomyces anomalus</i> tp2-15	30 °С, 120 об/хв, 72 год, рН=4,5	Середовище YPD: дріжджовий екстракт — 10, пептон — 20, глюкоза — 20	<i>Candida mesorugosa</i>	Hua, Chi, Liu, Buzdar, & Chi, 2010
<i>Wickerhamomyces anomalus</i> F17.12	26 °С, 70 об/хв, 36 год, рН=4,5	Середовище YPD: дріжджовий екстракт — 10, пептон — 20, глюкоза — 20	<i>Plasmodium berghei</i>	Valzano та ін., 2016
<i>Wickerhamomyces anomalus</i> Cf20	20 °С, 96 год, рН=4,5	Середовище YPD: дріжджовий екстракт — 10, пептон — 20, глюкоза — 20	<i>C. albicans</i> , <i>C. tropicalis</i> , <i>C. glabrata</i> , <i>C. krusei</i>	Fernández de Ullivarri та ін., 2020

Висновки

Існує велике різноманіття дріжджових кілер-токсинів (мікоцинів), які відрізняються за молекулярною масою, проте переважна більшість належить до низькомолекулярних білків, що залишаються стабільними за кислих значень рН та значень температур, що не перевищують 40 °С. Механізм дії кілер-токсинів також дещо відрізняється, але невід'ємними етапами для їх активності є зв'язування з первинними та вторинними рецепторами чутливих клітин.

Проаналізовані дослідження підтверджують, що дріжджові кілер-токсини володіють досить широким спектром антимікробної активності щодо патогенних мікроорганізмів: дріжджів, бактерій, грибів й паразитичних організмів, здатних викликати різноманітні захворювання людей. Це дає підґрунтя для формування подальших досліджень з метою розробки нових антимікробних лікарських засобів, таких необхідних в час значного розвитку резистентності у патогенних мікроорганізмів до вже існуючих препаратів.

Література

Цапко, С. О., Красінько, В. О. *Кілерна активність дріжджів, виділених із рослинної сировини*. Збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції «Біотехнологія: досягнення і перспективи розвитку».

Abu-Mejdad, N. M. J. A., Al-Badran, A. I., & Al-Saadoon, A. H. (2020). Purification and characterization of two killer toxins originated from *Torulaspota delbrueckii* (Lindner) and *Wickerhamomyces anomalus* (EC Hansen) Kurtzman, Robnett, and Basehoar-Powers. *Bulletin of the National Research Centre*, 44, 1—8.

Abu-Mejdad, N. M. J. A., Al-Badran, A. I., Al-Saadoon, A. H., & Minati, M. H. (2020). A new report on gene expression of three killer toxin genes with antimicrobial activity of two killer toxins in Iraq. *Bulletin of the National Research Centre*, 44, 1—9.

Abu-Mejdad, N. M. J. A., Al-Saadoon, A. H., Al-Badran, A. I., & Minati, M. H. (2020). Optimum conditions of killer toxins produced by *Torulaspota delbrueckii* and *Wickerhamomyces anomalus* and their action as antifungal agents. *Bulletin of the National Research Centre*, 44, 1—9.

Al-Qaysi, S. A., Al-Haideri, H., Thabit, Z. A., Al-Kubaisy, W. H. A. A. R., & Ibrahim, J. A. A. R. (2017). Production, characterization, and antimicrobial activity of mycocin produced by *Debaryomyces hansenii* DSMZ70238. *International journal of microbiology*, 2017(1), 2605382.

Bajaj, B. K., & Singh, S. (2017). Biology of killer yeast and technological implications. *Yeast Diversity in Human Welfare*, 163-190.

Bajaj, B. K., Raina, S., & Singh, S. (2013). Killer toxin from a novel killer yeast *Pichia kudriavzevii* RY55 with idiosyncratic antibacterial activity. *Journal of basic microbiology*, 53(8), 645—656.

Banjara, N., Nickerson, K. W., Suhr, M. J., & Hallen-Adams, H. E. (2016). Killer toxin from several food-derived *Debaryomyces hansenii* strains effective against pathogenic *Candida* yeasts. *International journal of food microbiology*, 222, 23—29.

Becker, B., & Schmitt, M. J. (2017). Yeast killer toxin K28: biology and unique strategy of host cell intoxication and killing. *Toxins*, 9(10), 333.

Belda, I., Ruiz, J., Alonso, A., Marquina, D., & Santos, A. (2017). The biology of *Pichia membrifaciens* killer toxins. *Toxins*, 9(4), 112.

Bhattacharya, S., Sae-Tia, S., & Fries, B. C. (2020). Candidiasis and mechanisms of antifungal resistance. *Antibiotics*, 9(6), 312.

Buzzini, P., Corazzi, L., Turchetti, B., Buratta, M., & Martini, A. (2004). Characterization of the in vitro antimycotic activity of a novel killer protein from *Williopsis saturnus* DBVPG 4561 against emerging pathogenic yeasts. *FEMS microbiology letters*, 238(2), 359—365.

- Calazans, G. F., Silva, J. C. D., Delabeneta, M. F., Paris, A. P., Yassuda Filho, P., Auler, M. E., ..., & Gandra, R. F. (2020). Antimicrobial activity of *Wickerhamomyces anomalus* mycocins against strains of *Staphylococcus aureus* isolated from meats. *Food Science and Technology*, 41, 388—394.
- Cappelli, A., Amantini, C., Maggi, F., Favia, G., & Ricci, I. (2021). Formulation and Safety Tests of a *Wickerhamomyces anomalus*-Based Product: Potential Use of Killer Toxins of a Mosquito Symbiotic Yeast to Limit Malaria Transmission. *Toxins*, 13(10), 676.
- Cappelli, A., Ulissi, U., Valzano, M., Damiani, C., Epis, S., Gabrielli, M. G., ..., & Ricci, I. (2014). A *Wickerhamomyces anomalus* killer strain in the malaria vector *Anopheles stephensi*. *PLoS one*, 9(5), e95988.
- Cappelli, A., Valzano, M., Cecarini, V., Bozic, J., Rossi, P., Mensah, P., ..., & Ricci, I. (2019). Killer yeasts exert anti-plasmodial activities against the malaria parasite *Plasmodium berghei* in the vector mosquito *Anopheles stephensi* and in mice. *Parasites & vectors*, 12, 1—8.
- Carmona-Gutierrez, D., Eisenberg, T., Büttner, S., Meisinger, C., Kroemer, G., & Madeo, F. (2010). Apoptosis in yeast: triggers, pathways, subroutines. *Cell Death & Differentiation*, 17(5), 763—773.
- Cecarini, V., Cuccioloni, M., Bonfili, L., Ricciutelli, M., Valzano, M., Cappelli, A., ..., & Ricci, I. (2019). Identification of a Killer Toxin from *Wickerhamomyces anomalus* with β -Glucanase Activity. *Toxins*, 11(10), 568.
- Chen, W. B., Han, Y. F., Jong, S. C., & Chang, S. C. (2000). Isolation, purification, and characterization of a killer protein from *Schwanniomyces occidentalis*. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(12), 5348—5352.
- Comitini, F., Mannazzu, I., & Ciani, M. (2009). *Tetrapispora phaffii* killer toxin is a highly specific β -glucanase that disrupts the integrity of the yeast cell wall. *Microbial Cell Factories*, 8, 1—11.
- El-Banna, A. A., Malak, A. E., & Shehata, M. G. (2011). Yeasts producing killer toxins: An overview. *Alexandria Journal of Food Science and Technology*, 8(2), 41—53.
- Fernández de Ullivarri, M., Bulacios, G. A., Navarro, S. A., Lanza, L., Mendoza, L. M., & Chalón, M. C. (2020). The killer yeast *Wickerhamomyces anomalus* Cf20 exerts a broad anti-*Candida* activity through the production of killer toxins and volatile compounds. *Medical Mycology*, 58(8), 1102—1113.
- Fredericks, L. R., Lee, M. D., Eckert, H. R., Li, S., Shipley, M. A., Roslund, C. R., ..., & Rowley, P. A. (2021). Vaginal isolates of *Candida glabrata* are uniquely susceptible to ionophoric killer toxins produced by *Saccharomyces cerevisiae*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 65(7), 10—1128.
- Gier, S., Schmitt, M. J., & Breinig, F. (2017). Expression of K1 toxin derivatives in *Saccharomyces cerevisiae* mimics treatment with exogenous toxin and provides a useful tool for elucidating K1 mechanisms of action and immunity. *Toxins*, 9(11), 345.
- Gier, S., Simon, M., Gasparoni, G., Khalifa, S., Schulz, M. H., Schmitt, M. J., & Breinig, F. (2020). Yeast viral killer toxin K1 induces specific host cell adaptations via intrinsic selection pressure. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(4), e02446-19.
- Gier, S., Simon, M., Nordström, K., Khalifa, S., Schulz, M. H., Schmitt, M. J., & Breinig, F. (2019). Transcriptome kinetics of *Saccharomyces cerevisiae* in response to viral killer toxin K1. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1102.
- Giesselmann, E., Becker, B., & Schmitt, M. J. (2017). Production of fluorescent and cytotoxic K28 killer toxin variants through high cell density fermentation of recombinant *Pichia pastoris*. *Microbial cell factories*, 16, 1—9.
- Giovati, L., Ciociola, T., De Simone, T., Conti, S., & Magliani, W. (2021). *Wickerhamomyces* yeast killer toxins' medical applications. *Toxins*, 13(9), 655.
- Giovati, L., Santinoli, C., Ferrari, E., Ciociola, T., Martin, E., Bandi, C., ..., & Conti, S. (2018). Candidacidal activity of a novel killer toxin from *Wickerhamomyces anomalus* against fluconazole-susceptible and-resistant strains. *Toxins*, 10(2), 68.
- Guo, F. J., Ma, Y., Xu, H. M., Wang, X. H., & Chi, Z. M. (2013). A novel killer toxin produced by the marine-derived yeast *Wickerhamomyces anomalus* YF07b. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 103, 737—746.

- Hodgson, V. J., Button, D., & Walker, G. M. (1995). Anti-Candida activity of a novel killer toxin from the yeast *Williopsis mrakii*. *Microbiology*, 141(8), 2003—2012.
- Hua, M. X., Chi, Z., Liu, G. L., Buzdar, M. A., & Chi, Z. M. (2010). Production of a novel and cold-active killer toxin by *Mrakia frigida* 2E00797 isolated from sea sediment in Antarctica. *Extremophiles*, 14, 515—521.
- Junges, D. S., Delabeneta, M. F., Rosseto, L. R. B., Nascimento, B. L., Paris, A. P., Persel, C., ..., & Gandra, R. F. (2020). Antibiotic activity of *Wickerhamomyces anomalus* mycocins on multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii*. *Microbial ecology*, 80, 278—285.
- Klassen, R., Schaffrath, R., Buzzini, P., & Ganter, P. F. (2017). Antagonistic interactions and killer yeasts. *Yeasts in natural ecosystems: Ecology*, 229—275.
- Liu, G. L., Chi, Z., Wang, G. Y., Wang, Z. P., Li, Y., & Chi, Z. M. (2015). Yeast killer toxins, molecular mechanisms of their action and their applications. *Critical reviews in biotechnology*, 35(2), 222—234.
- Magliani, W., Conti, S., Travassos, L. R., & Polonelli, L. (2008). From yeast killer toxins to anti-bodies and beyond. *FEMS Microbiology letters*, 288(1), 1—8.
- Mannazzu, I., Domizio, P., Carboni, G., Zara, S., Zara, G., Comitini, F., ..., & Ciani, M. (2019). Yeast killer toxins: From ecological significance to application. *Critical reviews in biotechnology*, 39(5), 603—617.
- Mannazzu, I., Domizio, P., Carboni, G., Zara, S., Zara, G., Comitini, F., ..., & Ciani, M. (2019). Yeast killer toxins: From ecological significance to application. *Critical reviews in biotechnology*, 39(5), 603—617.
- Marquina, D., Barroso, J., Santos, A., & Peinado, J. M. (2001). Production and characteristics of *Debaryomyces hansenii* killer toxin. *Microbiological research*, 156(4), 387—391.
- Melvlydas, V., Bružauskaitė, I., Gedminienė, G., & Šiekštelė, R. (2016). A novel *Saccharomyces cerevisiae* killer strain secreting the X factor related to killer activity and inhibition of *S. cerevisiae* K1, K2 and K28 killer toxins. *Indian journal of microbiology*, 56, 335—343.
- Melvlydas, V., Serviėne, E., Cernishova, O., & Petkuniėne, G. (2007). A novel X factor secreted by yeast inhibits *Saccharomyces cerevisiae* K1, K2 and K28 killer toxins. *Biologija*, 53(2).
- Orentaite, I., Poranen, M. M., Oksanen, H. M., Daugelavicius, R., & Bamford, D. H. (2016). K2 killer toxin-induced physiological changes in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *FEMS yeast research*, 16(2), fow003.
- Paris, A. P., Persel, C., Serafin, C. F., de Cássia Garcia Simão, R., & Gandra, R. F. (2016). Susceptibility of *Candida albicans* isolated from blood to *Wickerhamomyces anomalus* mycocins. *Current microbiology*, 73, 878—884.
- Polonelli, L., Magliani, W., Ciociola, T., Giovati, L., & Conti, S. (2011). From *Pichia anomala* killer toxin through killer antibodies to killer peptides for a comprehensive anti-infective strategy. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 99, 35—41.
- Radhamany, D., Rao, S., & Kotigadde, S. (2019). Bioregulatory role of *Wickerhamomyces anomalus* killer toxin against pathogenic members of the genus *Candida*. *Journal of Microbiology and Infectious Diseases*, 9(04), 155—160.
- Rodríguez-Cousiño, N., Maqueda, M., Ambrona, J., Zamora, E., Esteban, R., & Ramírez, M. (2011). A new wine *Saccharomyces cerevisiae* killer toxin (Klus), encoded by a double-stranded RNA virus, with broad antifungal activity is evolutionarily related to a chromosomal host gene. *Applied and environmental microbiology*, 77(5), 1822—1832.
- Santos, A., San Mauro, M., Bravo, E., & Marquina, D. (2009). PMKT2, a new killer toxin from *Pichia membranifaciens*, and its promising biotechnological properties for control of the spoilage yeast *Brettanomyces bruxellensis*. *Microbiology*, 155(2), 624—634.
- Schmitt, M. J., & Breinig, F. (2006). Yeast viral killer toxins: lethality and self-protection. *Nature Reviews Microbiology*, 4(3), 212—221.
- Soares, G. A., & Sato, H. H. (2000). Caracterização da toxina "killer" da linhagem de *Saccharomyces cerevisiae* Y500-4L. *Brazilian Journal of Microbiology*, 31, 291—297.

Stopiglia, C. D. O., Heidrich, D., Sorrentino, J. M., Vieira, F. J., Landell, M. F., Valente, P., & Scrofermeker, M. L. (2014). Susceptibility of species within the *Sporothrix schenckii* complex to a panel of killer yeasts. *Journal of Basic Microbiology*, 54(6), 578—584.

Tan, C., Wang, L., Xue, Y., Lin, S., Yu, G., & Yang, S. (2018). Purification and molecular characterization of a *Metschnikowia saccharicola* killer toxin lethal to a crab pathogenic yeast. *FEMS microbiology letters*, 365(10), fny038.

Tan, C., Wang, L., Xue, Y., Lin, S., Yu, G., & Yang, S. (2018). Purification and molecular characterization of a *Metschnikowia saccharicola* killer toxin lethal to a crab pathogenic yeast. *FEMS microbiology letters*, 365(10), fny038.

Tan, C., Wang, L., Xue, Y., Yu, G., Yang, S., & Lin, S. (2018). Marine killer yeast *Metschnikowia saccharicola* active against pathogenic yeast in crab and an optimization of the toxin production. *African Journal of Biotechnology*, 17(21), 668—679.

Tan, H. W., & Tay, S. T. (2011). Anti-*Candida* activity and biofilm inhibitory effects of secreted products of tropical environmental yeasts.

Tay, S. T., Lim, S. L., & Tan, H. W. (2014). Growth inhibition of *Candida* species by *Wickerhamomyces anomalus* mycocin and a lactone compound of *Aureobasidium pullulans*. *BMC complementary and alternative medicine*, 14, 1—11.

Torres, M., Ribeiro, M. A., Oliveira, J. A. S., Meurer, E. C., & Schwan-Estrada, K. R. (2021). Partial chemical characterization of the yeast extracts *Lachancea thermotolerans* CCMA 0763. *African Journal of Microbiology Research*, 15(7), 388—395.

Valzano, M., Cecarini, V., Cappelli, A., Capone, A., Bozic, J., Cuccioloni, M., ..., & Ricci, I. (2016). A yeast strain associated to *Anopheles* mosquitoes produces a toxin able to kill malaria parasites. *Malaria journal*, 15, 1—9.

Wang, L., Yue, L., Chi, Z., & Wang, X. (2008). Marine killer yeasts active against a yeast strain pathogenic to crab *Portunus trituberculatus*. *Diseases of aquatic organisms*, 80(3), 211—218.

Wang, X. X., Chi, Z., Peng, Y., Wang, X. H., Ru, S. G., & Chi, Z. M. (2012). Purification, characterization and gene cloning of the killer toxin produced by the marine-derived yeast *Williopsis saturnus* WC91-2. *Microbiological Research*, 167(9), 558—563.

BIOTECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF AN INNOVATIVE MULTISTRAIN PROBIOTIC WITH SELENIUM NANOPARTICLES: ACTIVE SUBSTANCE PRODUCERS AND FEASIBILITY STUDY OF THE DRUG

D. Syniavska, N. Hrehirchak

National University of Food Technologies

Key words:

Selenium
Nanoparticles
Lactic acid bacteria
Biotransformation
Probiotics
Selenium deficiency

Article history:

Received 16.09.2024
Received in revised form
27.09.2024
Accepted 18.10.2024

Corresponding author:

N. Hrehirchak
E-mail:
g_natal@ukr.net

Citation: Синявська Д. А., Грегирчак Н. М. (2024). Біотехнологія виробництва інноваційного мультиштамового пробіотика з наночастинками селену: продуценти діючої речовини та техніко-економічне обґрунтування лікарського засобу. *Наукові праці НУХТ*, 30(5), 58—69. DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-6

ABSTRACT

According to epidemiological research, from 500 million to 1 billion people in the world suffer from selenium deficiency due to insufficient dietary intake of this trace element. It was established that Se in the form of nanoparticles (SeNPs) is an innovative and novel alternative as an object of green synthesis due to their lower toxicity and higher bioavailability compared to traditional chemical forms of dietary Se.

Information on the areas of application of selenium nanoparticles is provided in the article and the peculiarities of their production using lactic acid bacteria are discussed. Particular attention is paid to the use of Se-enriched probiotic agents in medicine. Selenium nanoparticles in combination with probiotics play an important role in the pharmaceutical industry, as they are able to enhance immune responses, such as inflammation relief, antioxidant function, therapeutic effects on tumors, anticancer activity, and regulation of the gut microbiota. SeNPs are also well known for their non-toxicity and safety.

In addition, the annual demand for selenium-enriched multi-strain probiotic products in the world for the prevention and treatment of selenium deficiency — 64.575 kg/year, taking into account the concentration of the active substance, the duration of the treatment course and the number of patients in the world. The study took into account the known drugs for the treatment of selenium deficiency, which are medicines containing selenium in organic and inorganic forms.

БІОТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ІННОВАЦІЙНОГО МУЛЬТИШТАМОВОГО ПРОБІОТИКА З НАНОЧАСТИНКАМИ СЕЛЕНУ: ПРОДУЦЕНТИ ДІЮЧОЇ РЕЧОВИНИ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЛІКАРСЬКОГО ЗАСОБУ

Д. А. Синявська, Н. М. Грегірчак

Національний університет харчових технологій

За даними епідеміологічних досліджень, від 500 млн до 1 млрд людей у світі страждають від дефіциту селену через недостатнє споживання цього мікроелемента з їжею. Встановлено, що Se у формі наночастинок (SeNPs) є інноваційною та новою альтернативою як об'єкт зеленого синтезу завдяки їхній меншій токсичності та вищій біодоступності порівняно з традиційними хімічними формами харчового Se.

У статті наведено інформацію щодо галузей використання наночастинок селену, та розглянуто особливості їх одержання за допомогою молочнокислих бактерій. Особливу увагу зосереджено на використанні Se-збагачених пробіотичних засобів у медицині. Наночастинок селену в поєднанні з пробіотиками відіграють важливу роль у фармацевтичній промисловості, адже вони здатні посилювати імунні реакції, такі як зняття запалення, антиоксидантну функцію, терапевтичний вплив на пухлини, протиракову активність і регуляцію мікробіоти кишечника. SeNPs також добре відомі своєю нетоксичністю та безпечністю.

Окрім цього, у представленому матеріалі зроблено аналіз щодо забезпечення річної потреби в селенозбагаченому мультиштамовому пробіотичному засобі для профілактики та лікування дефіциту селену, — 64,575 кг/рік, з урахуванням концентрації діючої речовини, тривалості курсу лікування та кількості хворих в світі. При цьому було враховано вже відомі препарати для лікування дефіциту селену — це лікарські засоби з вмістом селену в органічній та неорганічній формах.

Ключові слова: селен, наночастинок, молочнокислі бактерії, біотрансформація, пробіотики, дефіцит селену.

Постановка проблеми. Останнім часом спостерігається зростаючий дефіцит Se, пов'язаний зі зменшенням його вмісту в рослинній сировині, оскільки існує тенденція до зниження вмісту Se в ґрунтах у багатьох регіонах світу. Зокрема, вміст Se в ґрунтах України коливається від 0,03 до 0,88 мг/кг, а більшість зразків ґрунту з різних регіонів мають вміст селену менше 0,2 мг/кг, що є досить низьким показником (Kushnir, Stadnyk, Kasiyan, Kudrinskaya, & Basiuk, 2019). Також значною проблемою є наявність в Україні кислих ґрунтів, де неорганічні форми Se здатні утворювати хелати з гідроксидом заліза і в результаті практично не споживаються рослинами (Stabnikova, Antoniuk, Stabnikov, & Arsenyeva, 2019).

Дослідження показують, що до 2080—2099 рр. унаслідок зміни клімату вміст селену в ґрунті зменшиться на 8,4%, зокрема цей дефіцит буде домінувати в сільськогосподарських районах (Jones та ін., 2017).

Згідно зі статистичними даними близько 0,5—1 млрд людей у світі страждають через нестачу цього мікроелемента, тому існує нагальна потреба у розробці сучасних ефективних препаратів з метою профілактики та лікування захворювань (Kieliszek, & Włazejak, 2016).

Огляд останніх досліджень і публікацій. На сьогодні особливо цікавим напрямком наукових досліджень, які в подальшому масштабуватимуться в практичній діяльності, є пошук і розробка технології та складу інноваційних пробіотиків з наноматеріалами, оскільки компоненти такого лікарського засобу створюватимуть синергетичний ефект для покращення здоров'я людини та матимуть можливість його застосування не лише для подолання дефіциту Se, а також у комплексній терапії для профілактики та лікування захворювань кишечника.

Наночастинки селену становлять інноваційну та новаторську альтернативу як об'єкти зеленого синтезу завдяки їх нижчій токсичності та вищій біодоступності порівняно з хімічними формами дієтичного Se (Au, Mojadadi, Shao, Ahmad, & Witting, 2023).

Традиційними методами синтезу SeNPs є фізичний і хімічний синтези, які мають складні операційні процеси, високі виробничі витрати та складне великомасштабне виробництво. Однак біотрансформація SeNPs за допомогою біологічних агентів є більш перспективним способом, який ефективно використовує неорганічний Se для синтезу елементарного Se⁰ шляхом біологічного збагачення (Liao, & Wang, 2022).

Особливу увагу серед мікроорганізмів, здатних до синтезу SeNPs, привертають молочнокислі бактерії, що належать до родів *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc* та *Bifidobacterium* (Stabnikova, Khonkiv, Kovshar, & Stabnikov, 2023).

З огляду на наведену вище інформацію можна стверджувати, що дослідження біотехнології виробництва наночастинок селену та використання їх у складі пробіотиків є доволі актуальним напрямком і становить не лише науковий, але й практичний інтерес.

Метою статті є аналіз наукової літератури щодо перспектив біосинтезу наночастинок селену та їх використання у різних галузях, зокрема медичній, а також обґрунтування виготовлення мультиштамового пробіотика, збагаченого SeNPs, для лікування та профілактики дефіциту селену.

Матеріали і методи. Для вирішення завдань дослідження проведено пошук, збір і детальний аналіз за інформаційними джерелами цитування PubMed, Google Scholar, Elsevier і ResearchGate.

Викладення основних результатів дослідження. Молочнокислі бактерії як біологічні агенти мають певні переваги порівняно з іншими продуцентами (EFSA, 2021). Так, ключову роль відіграє їх здатність до вироблення молочної кислоти, яка, у свою чергу, є сильним відновлювачем і стабілізатором для наночастинок (Javed та ін., 2020). Заслуговує на увагу також можливість їх синтезу за кімнатної температури й атмосферного тиску, що суттєво знижує енергетичні витрати та вплив на навколишнє середовище.

При виборі біологічного агенту для виробництва пробіотичного засобу, збагаченого SeNPs, необхідно звертати увагу на такі критерії, як біомаса і швидкість

або кількість збагачення Se, що, у свою чергу, дасть змогу накопичувати Se, зберігаючи високу життєздатність клітин.

Аналіз наукових досліджень останніх років дав змогу узагальнити (табл. 1) інформацію про найпродуктивніші біологічні агенти та умови їх культивування для отримання Se-збагаченої біомаси.

Таблиця 1. Особливості культивування продуцентів і технології трансформації наночастинок селену

Біологічний агент	Особливості процесу біосинтезу	Тривалість культивування, год	Концентрація біомаси, г/л	Кількість життєздатних клітин, КУО/мл	Обсяг збагачення Se, мг/г	Умовна вартість 1 г цільового продукту, грн/г	Джерело
<i>Lactobacillus paracasei</i> 20241	37 °C, 6 мкг/мл Na ₂ SeO ₃ , pH 6,5, 4% інокуляту, MRS-broth	36	0,56	8,8×10 ¹⁰	2,14	44,59	Sun та ін., 2022
<i>Lactobacillus plantarum</i> CRL 2030	30 °C, 5 мг/л Na ₂ SeO ₃ , 2% інокуляту, MRS-broth	24	0,6	8,8×10 ¹⁰	1,96	41,62	Martínez, Moreno-Martín, Pescuma, Madrid-Albarrán, & Mozzi, 2020
<i>Lactobacillus plantarum</i> 6076	37 °C, 10 мкг/мл Na ₂ SeO ₃ , MRS-broth	18	0,5	3,9×10 ¹⁰	4,88	49,96	Zan та ін., 2024
<i>Lactobacillus paracasei</i> CH135	37 °C, 150 мг/л Na ₂ SeO ₃ , MRS-broth	24	1,8	5,2×10 ¹⁰	40,68	13,89	Mörschbacher та ін., 2018
<i>Streptococcus thermophilus</i> CCDM 144	37 °C, 50 мг/л Na ₂ SeO ₃ , pH 5,8, M17 broth	24	2,5	7,3×10 ¹⁰	7,35	13,00	Krausova та ін., 2021

Дані, наведені у табл. 1, підтверджують, що найбільший обсяг збагачення Se отримали при культивуванні штаму *Lactobacillus paracasei* CH135 — 40,68 мг/г, а найнижчий — під час біосинтезу *L. plantarum* CRL 2030, який становить 1,96 мг/г.

Оскільки ми передбачаємо виготовлення пробіотичного засобу, збагаченого SeNPs, то кількість життєздатних клітин також є важливим показником при виборі біологічного агенту і повинна становити не менше 10⁸ КУО. Зокрема, відмічено, що найнижчу концентрацію клітин отримали при культивуванні *L. plantarum* 6076 —

$3,9 \times 10^{10}$ КУО/мл, а найвищу при культивуванні штаму *L. plantarum* CRL 2030 та *L. paracasei* 20241 — $8,8 \times 10^{10}$ КУО/мл.

Однак для остаточного вибору найефективнішого біологічного агента варто звернути увагу на умовну вартість 1 мг цільового продукту — біомаси збагаченої Se. Так, узагальнюючи вищенаведені дані (табл. 1), можна зробити висновок, що найдешевшим виявився цільовий продукт, синтезований *S. thermophilus* CCDM 144—13,00 грн/г, а найдорожчим — *L. plantarum* 6076, що складає 41,62 грн/г.

Проте як потенційний селенсинтезуючий пробіотичний штам доцільно використовувати *L. paracasei* CH135. Такий вибір обґрунтований тим, що для його культивування використовується відносно недороге поживне середовище. При цьому біологічний агент має найвищий обсяг збагачення Se — 40,68 мг/г та задовільну кількість життєздатних клітин і може бути рекомендований для виробництва пробіотичного препарату.

З огляду на літературні дані біосинтезовані SeNPs можна використовувати не лише для профілактики та лікування дефіциту Se, але й для широкого цільового спектра. Зокрема встановлено, що SeNPs мають великий потенціал у лікуванні діабету та хвороби Альцгеймера, окислювального стресу, запальних захворювань, таких як ревматоїдний артрит, у протипухлинній терапії та служать протектором від токсичних речовин, включаючи важкі метали (Ferro, 2021; Khurana, 2019; Rehman, 2021).

Також повідомляється про можливу розробку перев'язувальних матеріалів на основі SeNPs для прискорення загоєння інфікованих ран (Fang, 2023; Abbaszadeh, 2019), розробку харчових добавок для людей і ветеринарних потреб (Malyugina, Skalickova, Skladanka, Slama, & Horky, 2021), розробку тест-системи для виявлення вірусів, наприклад, тест-смужки для виявлення анти-SARS-CoV-2 IgM та IgG у сироватці та крові людини (Chen, 2022; Wang, 2020).

Наразі популярним також є виробництво косметевтики та нанокосметевтики для догляду за шкірою, волоссям, нігтями, губами та захисту від зморшок, фотостаріння, гіперпігментації, лупи та пошкодження волосся з SeNPs (Walsh, Kamali, McGrath, Hogan, & Hanrahan, 2023). Селеновмісну косметику розробляють і виробляють Ризький університет імені Страдіня, компанія Phyto-C (Нью-Йорк, США), Cytolnat® (Париж, Франція) та ін.

Оскільки значна частина світового населення страждає на дефіцит мікроелементу селену, а способом вирішенням для подолання цього захворювання є застосування лікарських засобів і дієтичних добавок, то пропонуємо виготовлення пробіотичних засобів із вмістом SeNPs. Адже зважаючи на численні позитивні результати досліджень, таке поєднання може створювати синергетичний ефект для покращення здоров'я людини, що становить не лише науковий, але й практичний інтерес.

Відповідно до звіту (Global Opportunity Analysis, & Industry Forecast, 2022), обсяг ринку продуктів Se досягне 345,6 млн дол. США до 2027 року, при середньорічному темпі зростання (CAGR) 9,7%.

Однак зареєстрованих лікарських засобів із вмістом SeNPs на тепер немає. Загалом на ринку України препарати для лікування дефіциту селену представлені у

вигляді різних діючих речовин, серед яких значну частку займають органічні форми. У табл. 2 наведено інформацію щодо існуючих препаратів для лікування дефіциту селену на ринку України.

Таблиця 2. Представлені на ринку України лікарські засоби, що містять селен

Назва препарату	Виробник	Форма випуску	Склад	Ціна	Джерело
Цефасель	Cefak (Німеччина)	Таблетки	1 таблетка містить 0,219 мг натрію селеніту, що відповідає 100 мкг селену	450,70 грн	1
Селенорм	Омніфарма (Україна)	Таблетки	1 таблетка містить 250 мкг L-селенометіоніну, що відповідає 100 мкг селену	271,10 грн	2
Selenium Arnas Natural	21st Century Health Care Inc. (США)	Капсули	1 капсула містить 200 мкг селену (у вигляді дріжджів з високим вмістом селену)	526,90 грн	3
Yeast-free Selenium	Solgar Vitamin & Herb (США)	Таблетки	1 таблетка містить 250 мкг L-селенометіоніну, що відповідає 100 мкг селену	456,70 грн	4
Selenium Solution	Nutricology (США)	Розчин	2,5 мл розчину містить натрію селеніту, що відповідає 100 мкг селену	943,00 грн	5
Selen	Dr. Max (Чехія)	Таблетки	1 таблетка містить 100 мкг органічного селену, витягнутого із культури дріжджів	396,00 грн	6
Selenium Powerfull	Sunny Caps (Україна)	Капсули	1 капсула містить 50 мкг натрію селеніту	249 грн	7

*Примітка** 1 — <http://surl.li/tlddg>; 2 — <http://surl.li/igzjf>; 3 — <http://surl.li/tlddo>; 4 — <http://surl.li/tlddx>; 5 — <http://surl.li/tldef>; 6 — <http://surl.li/tldej>; 7 — <http://surl.li/tldjg>.

Проаналізувавши дані табл. 2, можна зробити висновок про те, що препарати із вмістом селену найчастіше випускаються у вигляді таблеток і капсул, а найбільш поширеним дозуванням є 100 мкг Se.

Пропонуємо виготовляти мультиштамовий пробіотик, один із штамів якого — *L. paracasei* CH135, накопичуватиме Se, а інші компоненти створюватимуть сприятливий вплив на організм людини шляхом наявності полікомпонентності, широкого спектра біологічно активних видів, біоплівковою формою організації та взаємовигідними міжпопуляційними зв'язками.

Проаналізувавши ринок, теоретично приймемо, що одна капсула лікарського засобу матиме вагу 250 мг та міститиме 10 штамів мікроорганізмів, а саме:

- *Lactobacillus acidophilus* NCFM® — це нерухливі палички з заокругленими кінцями, що забарвлюються за Грамом позитивно. Діаметр їхніх клітин становить

0,6—0,9×1,5—6 мкм. Розташовуються поодинокі, попарно або у вигляді коротких ланцюжків. Ці бактерії не утворюють спор та не мають джгутиків. Утворюють колонії у вигляді шматочків вати при культивуванні в агарі з гідролізованим молоком, дріжджовим екстрактом і глюкозою (Irkítova, 2017; Akímenko, 2014);

- *Lactobacillus rhamnosus* GR1 та *Lactobacillus rhamnosus* GG — це нерухливі паличкоподібні бактерії, що забарвлюються за Грамом позитивно. Діаметр їхніх клітин становить 0,8—1,0×2,0—4,0 мкм. Розташовуються поодинокі або у вигляді коротких ланцюжків. Не утворюють спор і не мають джгутиків. Утворюють білі (кремові), блискучі круглі колонії, опуклої форми з рівними краями (Nwamaíoha, & Ibrahim, 2018);

- *Lactobacillus casei* DN114001 — це грампозитивні, неспороутворюючі, паличкоподібні бактерії з прямокутними кінцями, розміром 0,7—1,1×2—4 мкм, що розташовуються, зазвичай, у вигляді ланцюжків. Утворюють дрібні гладкі блискучі колонії сферичної форми сіро-білого кольору (Gobbetti, & Minervini, 2014);

- *Lactobacillus paracasei* CH135 та *Lactobacillus paracasei* Lpc-37 — грампозитивні, паличкоподібні, нерухомі бактерії, товщиною від 0,5 до 0,6 мкм та довжиною від 1 до 3 мкм, розміщуються у вигляді окремих клітин або ланцюжків по 4—8 особин. При рості на поверхні агару з гідролізованим молоком культура утворює білі колонії розміром не більше 1,0 мм в діаметрі у вигляді «човників», на поверхні агару — дрібні, білуваті пласкі колонії, при рості в гідролізованому бульйоні та рідкому середовищі MRS — утворює рівномірну каламуть і дрібнодисперсний осад на дні пробірки (штам бактерій *Lactobacillus paracasei*, що використовується у виробництві функціональних добавок для сільськогосподарської птиці: пат. № 109078 Україна: С12N 1/20, А61К 35/74, А23К 1/165, С12R 1/225, А61Р 1/12. № а 2014 03335; заявл. 02.04.2014 ; опубл. 10.07.2015);

- *Lactobacillus plantarum* — грампозитивні палички, які розміщуються поодинокі, попарно чи короткими ланцюжками, розміром 4—10×0,5—0,6 мкм. Нерухомі, спор і капсул не утворюють, не мають джгутиків. На рідкому середовищі МРС-1 виростають у вигляді рівномірної муті і гомогенного білого осаду на дні пробірки. У напіврідкому поживному середовищі МРС-2 утворюють ізольовані колонії у вигляді тяжів. На щільних поживних середовищах молочнокислі палички формують дрібні гладкі блискучі колонії сферичної форми сіро-білого кольору. При глибинному культивуванні в капустияному агарі на 24-у годину росту утворюють колонії білого кольору, округлої форми, діаметром до 1,0 мм з вираженою зоною розчинення крейди, через 48—72 год росту колонії зірчасті, білого кольору, діаметром 2,0—3,0 мм, з добре вираженою зоною розчинення крейди в агарі (Бергілевич та ін., 2010);

- *Lactobacillus helveticus* DSM 4183 — грампозитивні, каталазонегативні, неспороутворюючі та паличкоподібні (діаметр від 0,5 до 1,1 мкм) бактерії. При рості на поверхні MRS культура утворює білі або кремові, гладкі, округлі колонії діаметром близько 1—2 мм. Можуть мати блискучу поверхню та чітко окреслений край (Cagno, & Gobbetti, 2011);

- *Bifidobacterium lactis* Bi-07 та *Bifidobacterium lactis* BI-04 в мазках, пофарбованих за Грамом — грампозитивні поліморфні палички з можливою біфуркацією на одному або двох кінцях, розміщуються у вигляді скупчень або окремих клітин.

При рості на твердому середовищі МРС окремі колонії біфідобактерій мають форму «втягнутих веретен», «дисків», «гречаних зерен» білого кольору за умов культивування в анаеростаті (W. Morovic et al., 2017).

Враховуючи те, що селенозбагачений пробіотичний засіб розроблено на основі теоретичних та експериментальних досліджень, аналогів якого на ринку ще немає, то при розрахунку потужності виробництва, будемо враховувати світову потребу в цьому препараті.

Як уже зазначалося, у світі від дефіциту Se страждає 0,5—1 млрд людей, і на тепер у багатьох країнах спостерігається недостатнє надходження цього елемента (Kieliszek, & Włazejak, 2016). У зв'язку з тим, що вміст Se в організмі людини може коригуватись шляхом вживання збагачених цим мікроелементом продуктів харчування, то враховуватимемо, що кількість хворих на дефіцит Se у світі — 500 мільйонів.

При лікуванні дози мікроелемента різняться, тому за основу беремо найпоширенішу — 100 мкг Se в 1 капсулі. Курс лікування призначають індивідуально, але в середньому тривалість прийому препарату із селеном становить 30 днів по 1 капсулі на добу. Для розрахунку річної потреби в пробіотичному засобі необхідно розрахувати кількість селенозбагаченої біомаси на 1 людину, яка лікуватиметься цим лікарським засобом.

Оскільки обраний біологічний агент — *L. paracasei* CH135 накопичує 40,68 мг Se/г, то 100 мкг Se буде міститись у 2,46 мг біомаси.

При подальших розрахунках слід врахувати, що в 2,46 мг селенозбагаченої біомаси міститься 30% захисного середовища. Зробивши перерахунок, отримаємо 1,722 мг біомаси і 0,738 мг захисного середовища.

Отже, доза біомаси із вмістом Se для однієї хворої людини за весь курс лікування становить:

$$1,722 \text{ мг} \times 30 \text{ діб} = 51,66 \text{ мг.}$$

Потреба на курс лікування для забезпечення 500 мільйонів хворих:

$$51,66 \text{ мг} \times 500 \text{ млн} = 25 \text{ 830 кг.}$$

Вихідні дані для розрахунку потреби наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Вихідні дані для розрахунку річної потреби в селенозбагаченій біомасі для одержання мультиштамового пробіотика

Захворювання (профілактика)	Частота прийомів на добу, разів	Тривалість курсу лікування, днів	Кількість Se в 1 г біомаси, мг	Кількість Se в 1 капсулі, мкг	Кількість біомаси із Se на одну людину, мг	Кількість хворих в світі станом на 2023 р., млн	Загальна кількість біомаси із Se на всіх хворих, кг
Дефіцит селену	1	30	40,68	100	51,66	500	25 830

Згідно з аналізом наявних на ринку України препаратів і мінеральних добавок встановлено, що офіційно зареєстрованих є лише 116 позицій (Rybachuk, Berehova, & Kubska, 2020).

Відповідно до АТС-класифікації частка позицій, представлена препаратами з селеном, становить 4,08% (рис. 1).

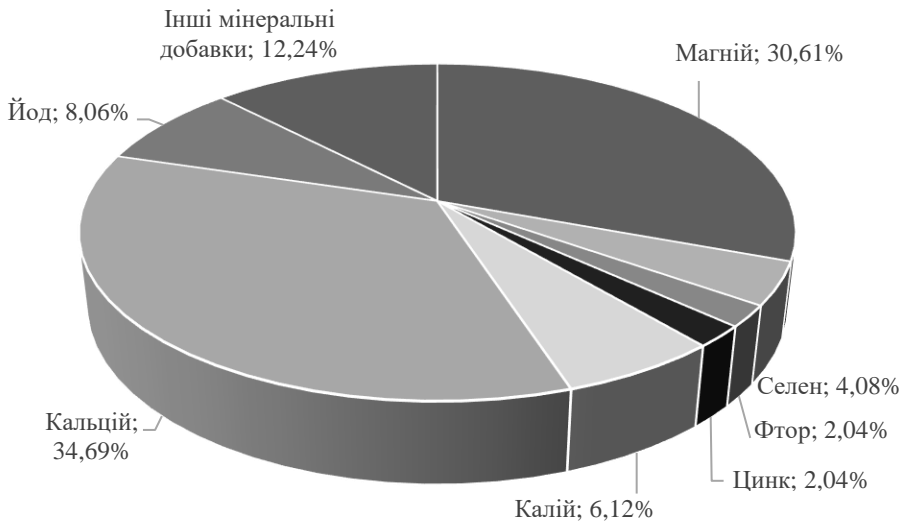


Рис. 1. Розподіл за діючою речовиною торговельних найменувань лікарських препаратів мінеральних добавок, що відносяться до груп А11 «Вітаміни» та А12 «Мінеральні добавки», побудовано за (Rybachuk, Berehova, & Kubska, 2020).

За попередніми розрахунками обрано біологічний агент *L. paracasei* CH135, продуктивність якого становить $X_{кр} = 1,8 \text{ г/л} = 1,8 \text{ кг/м}^3$ культуральної рідини (Mörschbacher та ін., 2018).

Плануємо, що вибрану кількість субстанції будемо виробляти $T_{рд} = 120$ робочих трудоднів. Для подальших розрахунків необхідно знати тривалість виробничого циклу $T_{ф} = 24$ год. Пробиотики отримують із сухою залишковою вологою $W = 3\text{—}5\%$, отже сухої речовини в продукті буде $CP = 0,96$.

Оскільки, за даними ринку селеновмісних препаратів України (рис. 1) станом на 2020 р., такі лікарські засоби займали 4,08% ринку, що становить приблизно 5 препаратів, то в середньому кожен з лікарських засобів із вмістом Se займав 0,8%. Пропонуємо при виході на світовий ринок з новим препаратом при розрахунку річної потреби у запропонованому лікарському засобі прийняти охоплення ринку в 0,25%.

Отже, потужність виробництва складе:

$$G_{нп} = 25\,830 \times 0,0025 = 64,575 \text{ кг.}$$

Потреба світового ринку в селенозбагаченій біомасі складає $G_{нп} = 64,575 \text{ кг}$. Таку кількість цільового продукту необхідно отримати за $T_{рд} = 120$ днів, оскільки решту робочих днів підприємство буде задіяне для біотрансформації інших наночастинок металів, зокрема AgNPs для компонентів перев'язувальних матеріалів, AuNPs для адресної доставки ліків, що оптимізує процес.

За літературними даними максимальний синтез біомаси ($X_{кр} = 1,8 \text{ г/л}$ за $T_{ф} = 24$ год культивування) досягається за умов росту *L. paracasei* CH135 на глюкозі.

Відповідно до ТУ вміст сухих речовин у готовому продукті $СР_{гп}$ складає 0,96 (частка). Час циклу роботи ферментера:

$$T_{цф} = T_{ф} + T_{по} = 24 + 6,5 = 30,5 \text{ год,}$$

де $T_{цф}$ — цикл роботи ферментера, який включає тривалість виробничого біосинтезу (24 год) та час підготовки ферментера до роботи (6,5 год).

Підготовка ферментера включає: миття та огляд (1,5 год), перевірка на герметичність (0,5 год), підігрів апарата (0,5 год), стерилізація (1 год), охолодження (0,5 год), завантаження середовища (1,5 год), засів (0,5 год), вивантаження культуральної рідини (0,5 год).

K_1 — коефіцієнт запасу (втрати культуральної рідини або посівного матеріалу від нестерильних операцій 1,1—1,5) прийmemo $K_1 = 1,1$. Сумарні втрати при виділенні готового продукту (сума всіх втрат на стадіях виділення готового продукту), частка $E_{св} = 0,175$. Визначаємо кількість продукту на добу:

$$G_{нтд} = G_{нт}/T_{рд} = 64,575/120 = 0,538 \text{ кг/добу.}$$

Розраховуємо кількість селенозбагаченої біомаси за цикл:

$$G_{цк} = G_{нтд} \times T_{цф}/24 = 0,538 \times 30,5/24 = 0,684 \text{ кг/цикл.}$$

Об'єм КР, що заливається за одну ферментацію (цикл) з урахуванням втрат при виділенні готового продукту, а також за рахунок можливих нестерильних операцій становить:

$$V_{кр} = K_1 \times G_{цк} \times СР_{гп}/X_{кр}(1 - E_{св}) = 1,1 \times 0,684 \times 0,96/1,8(1 - 0,175) = 0,486 \text{ м}^3.$$

Щоб розрахувати приблизний геометричний об'єм ферментера, обираємо коефіцієнт заповнення $K_3 = 0,6$:

$$V_{ф} = V_{кр}/K_3 = 0,486/0,6 = 0,81 \text{ м}^3.$$

Обираємо геометричним об'єм ферментера — 1,0 м³. Кількість ферментацій (циклів) на рік:

$$N_{цк} = G_{нт}/G_{цк} = 64,575/0,684 = 95 \text{ циклів.}$$

Оскільки концентрація селенозбагаченої біомаси в культуральній рідині *L. paracasei* СН135 становить 1,8 г/л = 1,8 кг/м³, а потреба у світі — 64,575 кг/рік, то об'єм культуральної рідини включно з витратами за рік дорівнює:

$$V_{крріч} = (64,575/1,8) \times 1,1 \times 0,85/(1 - 0,175) = 40,66 \text{ м}^3.$$

Кількість виробничих серій препарату за рік дорівнює річній кількості циклів культивування:

$$120 \times 24/30,5 = 95 \text{ серій.}$$

Висновки

Ґрунтовний аналіз наукових праць за період 2013—2024 рр. підтвердив, що способи отримання наночастинок металів, зокрема SeNPs, активно розробляються сучасними дослідниками. У цій статті пропонується використання лікарського засобу певною групою населення для профілактики та лікування дефіциту Se, а також його можливе супутнє застосування в комплексній терапії для лікування захворювань кишечника, адже компоненти препарату створюватимуть синергетичний ефект для покращення здоров'я людини. Розрахована потужність виробництва селенозбагаченої біомаси *L. paracasei* СН135 для одержання субстанції, що становить 64,575 кг за рік.

Однак токсичність, довгострокова стабільність і нездатність до біологічного розкладання металевих NPs є ключовими питаннями, на які слід зважати при розгляді їх використання. Вирішення цих проблем вимагає міждисциплінарного співробітництва та надійного регуляторного нагляду для використання повного потенціалу металевих наночастинок у біомедичному застосуванні, забезпечуючи при цьому безпеку та сталість.

У подальших напрацюваннях буде звернено увагу на вимоги ІСН Q3D до цього лікарського засобу, зокрема на інформацію, що стосується процесу оцінки й контролю елементарних домішок у препараті з використанням принципів управління ризиками, що описані в ІСН Q9.

Література

Бергілевич, О. М., Касянчук, В. В., Салата, В. З., Семанюк, В. І., Ковальчук, Р. Л., Остапюк, М. П. (2010). *Мікробіологія молока і молочних продуктів з основами ветеринарно-санітарної експертизи*. Суми: Університетська книга.

Бергілевич, О. М., Касянчук, В. В., Власенко, І. Г., Кухтін, М. Д., Ковальчук, Р. Л., Остапюк, М. П. (2010). *Мікробіологія молока і молочних продуктів*. Полтава: Університетська книга.

Abbaszadeh, A., Tehmasebi-Foolad, A., Rajabzadeh, A., Beigi-Brojeni, N., Zarei, L. (2019). Effects of Chitosan/Nano Selenium Biofilm on Infected Wound Healing in Rats; An Experimental Study. *Bull. Emerg. Trauma*, 7, 284—291. doi: 10.29252/beat-0703012.

Akimenko, L., Ushkalov, V., Postoenko, V., Maksimtchuk R. (2014). Standardization of microorganisms *Lactobacillus acidophilus* procedure authentication. *Ветеринарна біотехнологія*, 25.

Au, A., Mojadadi, A., Shao, J., Ahmad, G., & Witting, P. (2023). Physiological Benefits of Novel Selenium Delivery via Nanoparticles. *Int. J. Mol. Sci.*, 24, 6068. doi:10.3390/ijms24076068.

Cagno, R., & Gobetti, M. (2011). Lactic Acid Bacteria *Lactobacillus* spp.: *Lactobacillus helveticus*. *Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition)*, Academic Press, 105—110. doi: 10.1016/B978-0-12-374407-4.00262-4.

Chen, C., Hu, H., Li, X., Zheng, Z., Wang, Z., Wang, X., ..., Ma, Y. (2022). Rapid Detection of Anti-SARS-CoV-2 Antibody Using a Selenium Nanoparticle-Based Lateral Flow Immunoassay. *IEEE Trans. NanoBiosci.*, 21, 37—43. doi: 10.1109/TNB.2021.3105662.

EFSA (2021). Update of the list of QPS-recommended biological agents intentionally added to food or feed as notified to EFSA 15: suitability of taxonomic units notified to EFSA until September 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/7045>.

Fang, M., Zhang, H., Wang, Y., Zhang, H., Zhang, D., Xu, P. (2023). Biomimetic selenium nano-systems for infectious wound healing. *Eng. Regen.*, 4, 152—160. doi: 10.1016/j.engreg.2023.01.004.

Ferro, C., Florindo, H., Santos, H. (2021). Selenium nanoparticles for biomedical applications: from development and characterization to therapeutics. *Adv. Healthc. Mater.*, 10, e2100598. doi: 10.1002/adhm.202100598.

Gobetti, M., & Minervini, F. (2014). *LACTOBACILLUS* | *Lactobacillus casei*. *Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition)*, Academic Press, 432—438. doi: 10.1016/B978-0-12-384730-0.00180-4.

Irkítova, A., Matsyura, A. V. (2017). Ecological and biological characteristics of *Lactobacillus acidophilus*. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(4), 214—230. doi: 10.15421/2017_109.

Javed, R., Zia, M., Naz, S., Aisida, S. O., Ain, N., & Ao, Q. (2020). Role of capping agents in the application of nanoparticles in biomedicine and environmental remediation: Recent trends and future prospects. *Journal of Nanobiotechnology*, 18(1), 172. doi: 10.1186/s12951-020-00704-4.

Jones, G., Droz, B., Greve, P., Gottschalk, P., Poffet, D., McGrath, S., ..., Winkel, L. (2017). Selenium deficiency risk predicted to increase under future climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 114(11), 2848—2853. doi: 10.1073/pnas.1611576114.

Khurana, A., Tekula, S., Saif, M., Venkatesh, P., Godugu, C. (2019). Therapeutic applications of selenium nanoparticles. *Biomed Pharmacother*, 111, 802—812. doi: 10.1016/j.biopha.2018.12.146.

- Kieliszek, M., & Błażej, S. (2016). Current Knowledge on the Importance of Selenium in Food for Living Organisms: A Review. *Molecules*, 21(5), 609. doi: 10.3390/molecules21050609.
- Krausova, G., Kana, A., Vecka, M., Hyrslova, I., Stankova, B., Kantorova, V., ..., Malinska, H. (2021). In Vivo Bioavailability of Selenium in Selenium-Enriched *Streptococcus thermophilus* and *Enterococcus faecium* in CD IGS Rats. *Antioxidants*, 10, 463. doi: 10.3390/antiox10030463.
- Kushnir, V., Stadnyk, O., Kasiyan, O., Kudrinskaya, V., & Basiuk, T. (2019). Assessment of selenium content in soils of different agroclimatic zones of Ukraine. *Agrokhimia*, 3, 22—31.
- Liao, J., Wang, C. (2022). Factors affecting selenium-enrichment efficiency, metabolic mechanisms and physiological functions of selenium-enriched lactic acid bacteria. *J. of Future Foods*, 2(4), 285—293. doi: 10.1016/j.jfutfo.2022.08.001.
- Malyugina, S., Skalickova, S., Skladanka, J., Slama, P., Horky, P. (2021). Biogenic Selenium Nanoparticles in Animal Nutrition: A Review. *Agriculture*, 11, 1244. doi: 10.3390/agriculture11121244.
- Martínez, F., Moreno-Martin, G., Pescuma, M., Madrid-Albarrán, Y., & Mozzi, F. (2020). Bio-transformation of selenium by lactic acid bacteria: formation of seleno-nanoparticles and seleno-aminoacids. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 8, 506. doi: 10.3389/fbioe.2020.00506.
- Morovica, W., Roperb, J., Smitha, A., Mukerjib, P., Stahla, B., Raeb, J., & Ouwehandc, A. (2017). Safety evaluation of HOWARU® Restore (*Lactobacillus acidophilus* NCFM, *Lactobacillus paracasei* Lpc-37, *Bifidobacterium animalis* subsp. lactis Bi-04 and *B. lactis* Bi-07) for antibiotic resistance, genomic risk factors, and acute toxicity. *Food and Chemical Toxicology*, 110, 316—324. doi.org/10.1016/j.fct.2017.10.037.
- Mörschbacher, A., Dullius, A., Dullius, C., Brandt, C., Kuhn, D., Brietzke, D., ..., Hoehne, L. (2018). Assessment of selenium bioaccumulation in lactic acid bacteria. *J. Dairy Sci.*, 101(12), 10626—10635. doi: 10.3168/jds.2018-14852.
- Nwadiuto, O., & Nwamaioha, S. (2018). A selective medium for the enumeration and differentiation of *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*. *J. of Dairy Science*, 101(6), 4953—4961. doi: 10.3168/jds.2017-14155.
- Rehman, A., John, P., Bhatti, A. (2021). Biogenic selenium nanoparticles: potential solution to oxidative stress mediated inflammation in rheumatoid arthritis and associated complications. *Nano-materials*, 11, 2005. doi: 10.3390/nano11082005.
- Rybachuk, V., Berehova, T., & Kubska, M. (2020). The analysis of the assortment of medicines of mineral supplements presented at the Ukrainian market. *Bulletin of Pharmacy*, 2(100). doi: 10.24959/nphj.20.32.
- Stabnikova, O., Antoniuk, M., Stabnikov, V., & Arsenyeva, L. (2019). Ukrainian Dietary Bread with Selenium-Enriched Soya Malt. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74, 157—163.
- Stabnikova, O., Khonkiv, M., Kovshar, I., & Stabnikov, V. (2023). Biosynthesis of selenium nanoparticles by lactic acid bacteria and areas of their possible applications. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 39(9), 230. doi: 10.1007/s11274-023-03673-6.
- Sun, Y., Wang, H., Zhou, L., Chang, M., Yue, T., Yuan, Y., & Shi, Y. (2022). Distribution characteristics of organic selenium in Se-enriched *Lactobacillus (Lactobacillus paracasei)*. *LWT*, 165, 113699. doi: 10.1016/j.lwt.2022.113699.
- Walsh, S., Kamali, N., McGrath, J., Hogan, J., Hanrahan, J. (2023). Multidimensional Application of Selenium Nanoparticles. (Accessed on 12 May 2023).
- Wang, C., Chen, H., Chen, D., Zhao, M., Lin, Z., Guo, M., ..., Li, Y. (2020). The Inhibition of H1N1 Influenza Virus-Induced Apoptosis by Surface Decoration of Selenium Nanoparticles with β -Thujaplicin through Reactive Oxygen Species-Mediated AKT and p53 Signaling Pathways. *ACS Omega*, 5(47), 30633—30642. doi: 10.1021/acsomega.0c04624.
- Zan, L., Chen, Z., Zhang, B., Zou, X., Lan, A., Zhang, W., Yuan, Y., & Yue, T. (2024). Screening, Characterization and Probiotic Properties of Selenium-Enriched Lactic Acid Bacteria. *Fermentation*, 10, 39. doi: 10.3390/fermentation10010039.

BIOSYNTHESIS OF PROBIOTIC CULTURES FOR THE PRODUCTION OF SAUSAGE PRODUCTS

O. Vorontsov, K. Murenko

National University of Food Technologies

Key words:

Fermented meat products
Probiotic components of
sourdough
Lactobacillus sakei
CRL1862
Lactobacillus rhamnosus
R0011
Enterococcus faecium
MXVK29
Safe
Innovative and healthy
products

Article history:

Received 20.09.2024
Received in revised form
04.10.2024
Accepted 16.10.2024

Corresponding author:

O. Vorontsov

E-mail:

ewtcorp@ukr.net

Citation: Воронцов О. О.,
Муренко К. М. (2024). Біо-
синтез пробіотичних куль-
тур для виробництва ков-
басних виробів. *Наукові*
праці НУХТ, 30(5), 7086.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2024-30-5-7

ABSTRACT

The growth of the population's welfare in many 'third world' countries has sharply increased the demand for quality food products. The criteria for consumer choice of products have also changed. In addition to regional differences in taste preferences, the nutrient component plays a significant role. The demand for meat products has especially grown as the most nutritious and possessing high taste and aromatic qualities. Competition stimulates manufacturers to conduct extensive scientific research in order not only to satisfy gastronomic demands, but also to make a product that improves health. One of the promising areas is the processing of meat products with microorganism cultures. Among them, it is necessary to highlight probiotics, the use of which can significantly improve the texture and consistency of the finished product, making it more tender and juicier. In addition, probiotics inhibit the development of saprophytic microflora, which helps to extend the shelf life of finished products. There is a problem both with the choice of microorganisms for the preparation of starters, and with the biosynthesis of the necessary probiotic cultures. Determining the optimal starters and the presence of certain probiotics in their composition becomes quite difficult. The study of this problem involves studying the properties of various starter cultures with probiotics, their interaction with meat raw materials, as well as determining the optimal conditions for production. The results of the work can help manufacturers make a reasonable choice of starter cultures and probiotics, which will positively affect the quality, usefulness and attractiveness of their products.

БІОСИНТЕЗ ПРОБІОТИЧНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КОВБАСНИХ ВИРОБІВ

О. О. Воронцов, К. М. Муренко

Національний університет харчових технологій

Сучасний споживач очікує, щоб їжа не лише задовольняла його гастрономічні вподобання та надавала необхідні поживні речовини, але й сприяла збереженню здоров'я. Тому м'ясні продукти, які містять функціональні інгредієнти або мають менше компонентів, що вважаються не корисними для здоров'я, користуються підвищеним попитом. Пробиотичні культури можуть сприяти формуванню особливого профілю м'ясних виробів, забезпечуючи виразні та насичені смакові відчуття. Одночасно вони можуть позитивно впливати на текстуру та консистенцію м'яса, роблячи його більш соковитим і м'яким.

Забезпечення якості продукту є критичним аспектом для виробників і споживачів. Використання пробиотиків може подовжити термін зберігання м'ясних продуктів, запобігаючи таким чином їх псуванню. Такий підхід відповідає сучасним вимогам споживачів до якісних і безпечних харчових продуктів, а отже, визначається високою актуальністю в галузі харчової промисловості.

У сучасних умовах виробництва ковбасних виробів важливо використовувати пробиотичні культури для покращення якості продукції та збереження корисних властивостей. Проте існують проблеми з ефективністю заквасок і біосинтезом пробиотичних культур, що може призводити до недостатньої кількості корисних бактерій у ковбасних виробках. Вибір оптимальної закваски та пробиотиків у її складі є ключовим етапом у виробництві м'ясних виробів, оскільки ці компоненти впливають на смакові якості, тривалість зберігання, безпеку та корисність продукту. Проте наразі існують різні види заквасок і пробиотиків, тож вибір оптимальних може бути складним завданням.

Дослідження цієї проблеми передбачає вивчення властивостей різних заквасок і пробиотиків, їх взаємодію з м'ясною сировиною, а також визначення оптимальних умов для їх використання у виробництві. Результати дослідження допоможуть виробникам зробити кращий вибір заквасок і пробиотиків, що позитивно відобразиться на якості та корисності їх продукції, а також задовольнить вимоги споживачів.

Ключові слова: ферментовані м'ясні продукти, пробиотичні компоненти закваски, *Lactobacillus sakei* CRL1862, *Lactobacillus rhamnosus* R0011, *Enterococcus faecium* MXVK29, безпечні, інноваційні та здорові продукти.

Постанова проблеми. Запит на безпечні, інноваційні та здорові продукти харчування обумовив тенденцію створення нових видів ферментованих м'ясних продуктів.

Сучасні тенденції у харчовій промисловості вимагають не лише підвищення якості продукції, але й забезпечення її безпечності та корисності для здоров'я споживачів. Зростаючий попит на ковбасні вироби з функціональними інгредієнтами,

такими як пробіотичні культури, підкреслює необхідність використання новітніх біотехнологічних методів у виробництві.

Проблема полягає у виборі та оптимізації мікроорганізмів для заквасок, які б забезпечили ефективну ферментацію, покращили смакові властивості продуктів та водночас мали позитивний вплив на здоров'я споживачів. (de L. Agüero, Frizzo, & Rosmini, 2020).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні в Україні склалася проблема у сфері виробництва м'ясної продукції через недостатню якість сировини та порушення умов зберігання, через що знижується якість готової продукції та безпечність її споживання. (Бабенко, 2012).

У США в період з 2017 по 2020 рр. споживання неякісних м'ясних продуктів призвело до госпіталізації більш ніж 1500 осіб, зокрема йдеться про вироби з яловичини — 900 осіб; зі свинини — 126; з курятини — 679. Найчастіше діагностувалися токсикоінфекції, викликані бактеріями груп *Escherichia* та *Salmonella*, та антропозоонозну інфекцію, збудником якої є *Listeria monocytogenes*.

Використання пробіотичної м'ясної закваски для поліпшення якості м'ясних виробів на сьогодні є надзвичайно актуальним у контексті сучасної нутриціології. Цей підхід відкриває перспективи для покращення якості харчових властивостей м'ясних продуктів, що є ключовими чинниками для виробників і споживачів.

Пробіотичні культури можуть сприяти формуванню особливого смакового профілю м'ясних виробів, забезпечуючи виразні та насичені смакові відчуття. Одночасно вони можуть позитивно впливати на текстуру та консистенцію м'яса, роблячи його більш соковитим і м'яким.

Забезпечення якості продукту є критичним аспектом для виробників. Використання пробіотиків, які запобігають псуванню м'ясних продуктів, може подовжити термін їх придатності до вживання. Такий підхід відповідає сучасним вимогам споживачів до якісних і безпечних харчових продуктів, а отже, визначається високою актуальністю в галузі харчової промисловості (Dias, Laranjo, & Potes, 2020).

У сучасних технологіях виробництва ковбасних виробів важливо використовувати пробіотичні культури для покращення якості продукції та збереження корисних властивостей. Проте існують проблеми з ефективністю біосинтезу пробіотичних культур, що може призводити до недостатньої кількості корисних бактерій у ковбасних виробках. Вибір правильної пробіотичної закваски та пробіотиків є ключовим етапом у виробництві м'ясних виробів, оскільки ці компоненти можуть впливати на смакові якості, тривалість зберігання, безпеку та корисність продукту. Проте наразі існують різні види заквасок і пробіотиків, тож вибір оптимальних може бути складним завданням. Дослідження цієї проблеми передбачає вивчення властивостей різних заквасок і пробіотиків, їх взаємодію з м'ясною сировиною, а також визначення оптимальних режимів їх використання у виробництві. Результати дослідження можуть допомогти виробникам зробити кращий вибір заквасок і пробіотиків, що позитивно відобразиться на якості та корисності їх продукції, оптимізує економічні показники, а також задовольнить вимоги споживачів.

Метою статті є систематизація наявних наукових досліджень, що стосуються використання різних пробіотичних культур як заквасок у виробництві ковбасних виробів, а також аналіз їх функціональних ролей.

Матеріали і методи. Аналіз літературних джерел, експериментальні дослідження з вирощування пробіотичних культур, тестування їх ефективності у виробництві ковбасних виробів.

Викладення основних результатів дослідження. Автори (Dias, Laranjo, & Potes, 2020) досліджували пробіотичні штами, які можна використати як м'ясні закваски. Всього було вивчено вісім штамів з оцінкою технологічних і безпечних характеристик, включаючи здатність до росту, продукування молочної кислоти, газоутворення, активність каталази, активність нітратредуктази, протеолітичну активність, ліполітичну активність, солестійкість, продуктивність при низьких температурах, декарбоксилювання амінокислот і антимікробну активність проти патогенів, присутність яких не виключена в сировині та готовому продукті. *Lactobacillus rhamnosus* R0011, *Lactobacillus rhamnosus* Lr-32, *Lactobacillus paracasei* Lpc-37, *Lactobacillus casei* Shirota та *Enterococcus faecium* MXVK29 мають хороші показники для використання як заквасок ферментованих ковбас, оскільки вони продемонстрували найкращі технологічні властивості. Також виявлена висока антимікробна активність проти *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Salmonella Dublin* і *Staphylococcus aureus*. *Lactobacillus rhamnosus* Lr-32 був штамом, який найкраще переносив підвищенні рівні вмісту солі, нітратів і низький рН під час змодельованих етапів технологічного процесу та при дозріванні ковбас.

Досліджено безпечність, біотехнологічні та пробіотичні властивості двадцяти трьох ентерококових і лактококових ізолятів молочного походження. За результатами було відібрано два найкращі кандидати та додано до спеціалізованих заквасок під час лабораторних випробувань при приготування ковбаси з м'яса дикого кабана. Оцінювалися життєздатність при технологічних операціях, вплив на фізико-хімічні, мікробіологічні й органолептичні властивості готового продукту та вміст гістаміну. У результаті елементно-полімеразної ланцюгової реакції (реп — PCR) було виявлено, що мікробіота нативних заквасок зберігала життєздатність протягом 15 днів дозрівання. У кінцевих продуктах живі мікроорганізми були або відсутні (LL8307), або їх кількість зменшувалася на 80% (ED0207). Застосування нативних заквасок швидко знижувало рН ($p < 0,05$), що призводило до значно нижчого вмісту *E. coli* та *Enterobacteriaceae* у готових до споживання ковбасах, виготовлених з додавання заквасок (3,04—3,94 log КУО/г, порівняно з контролем — 3,88—5,00 log КУО/г). Аналіз результатів дегустацій показав, що деякі органолептичні властивості (запах, смак, соковитість) продуктів, що були вироблені з додаванням заквасок, сподобалися більшому відсотку членів дегустаційних комісій. Отримані результати свідчать про те, що ці закваски, ймовірно, стануть цінним інструментом для забезпечення однорідності та гігієнічної якості ферментованих ковбас і можуть безпечно використовуватися для отримання сучасних харчових продуктів (Mrkonjić Fuka, Kos, & Tanuwidjaja, 2021).

Досліджувані стартові культури склалися з таких штамів: *Lactobacillus (L) sakei* 23K, виділеного з французької ковбаси (Najjari, Boumaiza, & Ouzari, 2005); *L. sakei* BMG 95, виділений з анчоусів; *L. sakei* BMG 37, виділений з м'яса овець (Najjari, Ouzari, Boudabous, & Zagorec, 2008); *Staphylococcus xylosus*, виділеного з кустарних туніських ферментованих ковбас (номер доступу GenBank: SUB7037332 XYLO MT111928). Комерційну закваску (RAPS, 730 Biostart plus) використовували як контрольну закваску для цього дослідження. Зразки ковбаси, інокульовані

L. sakei VMG 95, продемонстрували найбільш бажані фізико-хімічні та сенсорні властивості порівняно зі зразками, інокульованими комерційною закваскою. Отже, штам, виділений з анчоусів, має потенціал для використання як закваски в комерційному виробництві сиров'ялених ковбас.

Внесення *L. plantarum* справило значний позитивний вплив на покращення якості, наприклад, підвищена підкислювальна активність і зниження кількості сапрофітних бактерій у продуктах. Крім того, додавання *Lactobacillus plantarum* значно покращило органолептичні характеристики, особливо смак і запах продукту порівняно з комерційною закваскою. На підставі результатів, отриманих під час дослідження (Ва та ін., 2018) можна припустити, що виділений *Lactobacillus plantarum* можна розглядати як пробіотичний штам, який буде використовуватися як закваска, а температура, при якій штам продемонстрував найбільше покращення якості ферментованих ковбас, становила 30 °С.

Вибрані автохтонні закваски (SAS) (тобто *Lactobacillus sakei* 8416, *Lactobacillus sakei* 4413, *L. sakei* 8426, *L. plantarum* 7423, *L. curvatus* 8427) використовувалися як закваски на додаток до контрольної 730 Biostart plus у виробництві ферментованих ковбас. Культури SAS мали швидший ріст і домінували у випадковій популяції протягом усього процесу виробництва та дозрівання, покращуючи органолептичні властивості порівняно з контролем. Обробка *L. sakei* 4413 мала найнижчий рівень ($P < 0,05$) вмісту всіх біогенних амінів. Порівняно з контролем зниження тираміну становило 13%, триптаміну — 55%, кадаверину — 60% і путресцину — 72%. Ковбаси, вироблені з культурами SAS *L. sakei* 4413 і *L. sakei* 8416, мали найвищі бали за всіма ознаками. Результати показали, що культура SAS *L. sakei* 4413 є найкращою автохтонною закваскою для ферментованих ковбас. У статті (Вака, Paravergou, & Kotzekidou, 2011) були наведені результати оцінки фізико-хімічні параметрів: рН і активність води (a_w); мікробіологічні параметри; біогенні аміни, колір, профіль текстури та органолептичні властивості. На основі попередніх досліджень були обрані різні склади заквасок. *Staphylococcus equorum* S2M7, *Staphylococcus xylosum* СЕСТ7057, *Lactobacillus sakei* CV3C2, *Lactobacillus sakei* СЕСТ7056 і штам дріжджів (2RB4) були спільно інокульовані в м'ясний фарш у визначених рівних концентраціях. Закваски мали значний вплив на зниження рН. *Enterobacteria* та *Listeria monocytogenes* не виявлені кінцевих продуктах, що були інокульовані. Крім того, ковбаси, інокульовані *S. equorum* S2M7, *L. sakei* CV3C2, дріжджі 2RB4, продемонстрували значне зниження загального вмісту біогенних амінів.

Також було проведено дослідження з визначення змін мутагенності та концентрації біогенних амінів у ковбасах, ферментованих шістьма різними заквасками, додатково обробленими вітамінами С і Е (Kim, Lee, & Hur, 2019). Було виготовлено шість різних типів ферментованих ковбас з різними комбінаціями заквасок: T1, *Pediococcus acidilactici*; T2, *P. pentosaceus* і *Staphylococcus carnosus*; T3, *S. carnosus*, *S. xylosum*, *Debaryomyces hansenii*, *Lactobacillus curvatus* і *P. pentosaceus*; T4, *S. carnosus* і *L. sakei*; T5, *S. xylosum* і *L. plantarum*; T6, *Penicillium nalgiovensis*. Після обробки ферментованих ковбас вітамінами С і Е були виміряні зміни мутагенності та концентрації біогенних амінів. Найбільшу антимутагенну дію виявили ковбаси, ферментовані заквасками *Staphylococcus xylosum* та *Lactobacillus plantarum* ($p < 0,05$). Мутагенність була додатково знижена в ковбасах, оброблених вітамінами С і Е

($p < 0,05$), незалежно від заквасок. Використання *Pediococcus acidilactici*, *Staphylococcus xylosus*, *L. plantarum* і *Penicillium nalgiovensis* як стартових культур було ефективним у зниженні концентрації біогенних амінів ($p < 0,05$). Крім того, вітамін Е був більш ефективним у зниженні концентрації біогенних амінів, ніж вітамін С. Автори рекомендують використовувати *S. xylosus* і *L. plantarum* як стартові культури на додаток до вітамінів С і Е, щоб зменшити потенційний ризик накопичення мутагенів у ферментованих ковбасах.

П'ять штамів *E. faecium* (MZF1, MZF2, MZF3, MZF4 і MZF5) були відібрані та додатково оцінені на їх пробіотичні властивості. Результати дослідження (Zomiti та ін., 2018) підтвердили, що ентерококові ізоляти стійкі до суворих шлунково-кишкових умов (кислотності та жовчних солей). Оцінка безпеки показала, що ці бактерії чутливі до клінічно значущих антибіотиків, таких як ванкоміцин. Вони не мають здатності виробляти гістамін, більш токсичний біогенний амін, і більшість штамів *E. faecium* не містять генів вірулентності для *agg*, *gelE*, *esp* і *ace*. Навпаки, всі ізоляти містять принаймні один ентероцин і можуть ефективно пригнічувати ріст *Listeria* spp. Результати досліджень показали, що ці штами, зокрема MZF5, відповідно до його високої здатності до адгезії, відсутності цитотоксичності та генів вірулентності, можуть розглядатися як цікаві кандидати для майбутнього використання як пробіотиків і біозахисних культур для застосування в харчовій та/або кормовій промисловості.

У дослідженні (Wang та ін., 2021) шляхом порівняння чотирьох груп ковбас, зокрема СО (без закваски), LB (з *Lactobacillus sakei*), LS (з *L. sakei* 3X-2B+*Staphylococcus xylosus* SZ-8) і LSS (з *L. sakei* 3X-2B+S. *xylosus* SZ-8+S. *carneus* SZ-2), вивчали вплив змішаних заквасок на фізико-хімічну якість, протеоліз і біогенні аміни (БА) під час ферментації та дозрівання м'ясних продуктів. Інокуляція змішаних заквасок сприяла збільшенню кількості молочнокислих бактерій і стафілококів у ковбасних виробках під час ферментації та дозрівання від 0 до 5 діб. Змішана закваска *L. sakei* 3X-2B+S. *xylosus* SZ-8+S. *carneus* SZ-2 прискорила швидкість утворення кислоти та зниження водної активності ковбас і покращила показник кольору. Порівняно з СО, змішана закваска ефективно інгібувала *Enterobacteriaceae*. Вільні амінокислоти в групах LS і LSS (224,97 і 235,53 мг/кг сухих ковбас відповідно) були значно ($p < 0,001$) вищими, ніж у групі СО (170,93 мг/кг сухих ковбас). Рівень гістаміну, кадаверину, путресцину та звичайних БА показав протилежну тенденцію до збільшення вмісту відповідних амінокислот-попередників, які були достовірно нижчими ($p < 0,001$) у LS та LSS ковбасах, ніж у СО. Це дослідження показало, що *L. sakei* 3X-2B+S. *xylosus* SZ-8+S. *carneus* SZ-2 є потенційною змішаною закваскою для ферментованих м'ясних продуктів.

У дослідженні (Liu та ін., 2021) пробіотичні молочнокислі бактерії *Lactobacillus delbrueckii* N102, *Latilactobacillus sakei* H1-5, *Debaryomyces hansenii* Y4-1 і *Wickerhamomyces anomalus* Y12-3 були виділені з матеріалів харчового походження. Проведено порівняльну оцінку фізико-хімічних властивостей мікробної популяції, ТБАР, ліполізу, протеолізу та летких смакових сполук сухих ферментованих ковбас з різними заквасками в процесі дозрівання. Результати показали, що як *L. delbrueckii* N102, так і *L. sakei* H1-5 добре ростуть і можуть швидко знизити значення рН продуктів. У той же час вони здатні значно зменшити кількість *Enterobacter*

putrefaciens, що підвищує безпеку продуктів. Порівняно з молочнокислими бактеріями, дріжджі показали більший внесок у формування смаку та ефективне інгібування окислення ліпідів.

Також проведено вивчення впливу змішаної закваски (*Lactobacillus fermentum* YZU-06 і *Staphylococcus saprophyticus* CGMCC 3475) на смак і якість ферментованих ковбас. Під час технологічного процесу було проаналізовано: зміни рН, активність води, аналіз профілю консистенції, колір, кількість молочнокислих бактерій (LAB) і стафілококів, вміст пептидних і смакових сполук. Результати показали, що група заквасок підвищила твердість, еластичність, кількість LAB і стафілококів, вміст пептидів, летких ароматичних сполук, а також сенсорні оцінки ковбаси, одночасно зменшивши значення рН (Liu та ін., 2023).

Мета дослідження (Seleshe, & Kang, 2021) полягала в тому, щоб оцінити вплив трьох різних штамів заквасок молочнокислих бактерій (LAB): *Pediococcus pentosaceus* (KC-13100) (PP), *Lactobacillus plantarum* (KCTC-21004) (LP1) і *L. plantarum* (KCTC-13093) (LP2) на фізико-хімічні, мікробіологічні характеристики та органолептичні показники сухих ферментованих ковбас після дозрівання та періоду сушіння протягом 21 доби. Зразки, в які були додані штами PP і LP2, показали значно вищі ($p < 0,05$) LAB, а активність води (a_w) для всіх трьох обробок була нижче 0,85 після завершення процесу дозрівання. Що стосується органолептичних властивостей, зразки, оброблені PP, мали значно вищі ($p < 0,05$) показники кольору та загальної прийнятності.

Вплив *Limosilactobacillus fermentum* 332 на характеристики якості ферментованої ковбаси досліджували (Gu, Qiao, & Tian, 2023) з точки зору фізико-хімічних характеристик, летких смакових компонентів і визначення QS. Результати показали, що рН ферментованої ковбаси знизився з 5,20 до 4,54 протягом 24 годин після інокуляції *L. fermentum* 332. Вміст летких смакових компонентів значно підвищився, а колір став більш привабливим. Твердість і жувальна здатність значно підвищилися після додавання *L. fermentum* 332. Вміст реактивної речовини тіобарбітурової кислоти знизився з 0,26 до 0,19 мг/100 г, а вміст загального леткого основного азоту зменшився з 2,16 до 1,61 мг/100 г. Загалом у контрольній і ферментованій ковбасі виявлено 95 та 104 види летких смакових компонентів відповідно.

Також було виготовлено чотири різні партії баранячої ковбаси: партія без заквасок використана як контроль; партія LB з *Lactobacillus sakei*; LS партія з *L. sakei* + *Staphylococcus xylosus*; і партія LSS з *L. sakei*+*S. xylosus*+*Staphylococcus carnosus* (Wang та ін., 2019). Результати показали, що додавання закваски призвело до того, що *Lactobacillus* і *Staphylococcus* (LSS) стали домінуючими бактеріями та зменшили кількість *Enterobacteriaceae* в інокульованих ковбасах. Змішані закваски (LS & LSS) прискорюють підкислення та знижують активність води й окислення ліпідів. Статистичний аналіз показав, що використання змішаних заквасок, особливо комбінації *L. sakei*+*S. xylosus*+*S. carnosus*, сприяло протеолізу й ліполізу, збільшуючи загальні вільні амінокислоти та поліненасичені жирні кислоти.

Дослідження (Wang та ін., 2022) спрямоване на вивчення впливу *Staphylococcus xylosus* YCC3 (Sx YCC3) і *Lactobacillus plantarum* MSZ2 (Lp MSZ2) на гідроліз і окислення ліпідів, склад бактеріального співтовариства та леткі смакові сполуки у ферментованій ковбасі. Результати показали, що вміст вільних жирних кислот (ВЖК) збільшувався після інокуляції Sx YCC3 або Lp MSZ2. Рівень рН, перекисне

число (POV), значення реактивних речовин, зокрема тіобарбітурової кислоти (TBARS), активність ліпоксигенази та кількість *Enterobacteriaceae* були нижчими в інокульованих ковбасах, ніж у неінокульованих ковбасах.

У дослідженні (Ameer та ін., 2021) ферментовані ковбаси, виготовлені шляхом інокуляції різних штамів *Lactobacillus sakei*, оцінювали на їх фізико-хімічні, мікробіологічні характеристики та консистенцію під час формування та дозрівання. Було підготовлено п'ять обробок: контроль (комерційна закваска, C), *L. sakei*, корейська колекція типових культур (КСТС)-3802 (S1), *L. sakei* КСТС-3598 (S2), *L. sakei* КСТС-5053 (S3) і *L. sakei* КСТС-3603 (S4). Різні штами *L. sakei* не показали суттєвих відмінностей ($p > 0,05$) у зміні значень рН для сухих ферментованих ковбас наприкінці періоду дозрівання. За результатами дослідження з'ясувалося, що інокуляція штаму S3 (*L. sakei* КСТС-5053) може покращити забарвлення та зменшує окислення ліпідів, тоді як S2 покращує мікробіологічну якість.

Результати дослідження (Hu та ін., 2023) показали, що штами LS можуть швидко знижувати активність води (a_w) і рН ферментованих ковбас. Здатність штамів LS затримувати окислення ліпідів була еквівалентна штамам SBM-52. Вміст небілкового азоту (NPN) у ковбасах, інокульованих LS (0,31%), був вищим, ніж у ковбасах, інокульованих SBM-52 (0,28%). Після процесу дозрівання залишки нітритів у ковбасах LS були на 1,47 мг/кг нижчими, ніж у ковбасах SBM-52. Спостерігалось зниження концентрації біогенних амінів у ковбасі з LS на 4,88 мг/кг, особливо концентрації гістаміну та фенілетиламіну.

Молочнокислі бактерії (LAB) (*Lactobacillus helveticus* ZF22 і TR1-1-3) були засіяні у ферментовані ковбаси при 10^7 КУО/г. Досліджувалися їхні легкі смакові речовини під час визрівання та зберігання. Теплова карта кластеризації й аналіз головних компонентів (PCA) використані для ідентифікації диференційних смакових компонентів у неінокульованих та інокульованих ковбасах. Результати показали, що під час дозрівання ферментованих ковбас було ідентифіковано 72 летких смакових речовин, крім того, інокуляція *Lactobacillus helveticus* ZF22 і TR1-1-3 збільшила частку кислот, кетонів і алканів. Також теплова карта кластеризації показала, що складні ефіри, такі як етилізобутират, етилацетат і етилвалерат, були більш поширені в TR1-1-3 і ZF22, ніж у ZR.

У дослідженнях (Xu, Yuning, & Yinglian, Zhu, 2021) вивчалися позитивний вплив повної заміни нітриту *Lactobacillus fermentum* на якість і безпеку китайських ферментованих ковбас, а також оцінювався ризик впровадження у виробництво цього штаму. Було вивчено вплив штаму на рН, колір, вміст нітритів, реактивні речовини, зокрема тіобарбітурові кислоти (TBARS), загальний летючий базовий азот (TVB-N), метміоглобін (Met-Mb), біологічні аміни, вміст вільних амінокислот та сенсорний індекс (консистенція). Результати показали, що штам знижує рН ковбас, що зменшує ризик розвитку харчових патогенів і прискорює процес підкислення та гелеутворення. Інокуляція штаму давала рожеве забарвлення, подібне до 50 мг/кг нітриту, що значно знижувало залишкову концентрацію нітриту в ковбасах.

У (Кишенько та ін., 2014) вивчалось використання біопрепаратів Vactofenn F-SC-111 і Vactofenn F-1 у виробництві сирокочених ковбас. Ці культури містять селекціоновані штами бактерій *Lactobacillus sakei* і *Staphylococcus carnosus*, що

сприяє більш інтенсивному кольору ковбасних виробів. Порівняно з традиційними культурами Vactofenn F-SC-111 і Vactofenn F-1 мають коротшу лаг-фазу і сприяють більш швидкому зниженню рН. Наприкінці визрівання у ковбасах, виготовлених з бакпрепаратами (Vactofenn F-SC-111 та Vactofenn F-1), спостерігали зниження сторонньої мікрофлори на 24—27% порівняно з контрольними зразками. Отримані результати мікробіологічних досліджень свідчать про доцільність (необхідність) використання цих груп препаратів для забезпечення чистоти ферментаційних процесів при виробництві сировокопчених ковбас.

Проведені дослідження закономірностей функціонування у м'ясі птиці бактеріальних препаратів «ЛРР», «Лакмік», «БАТП-Ф», які різняться за видовим складом мікроорганізмів, упродовж технологічного процесу виготовлення сиров'ялених виробів. Заквашувани композиції додавали до філе на стадії сухого посолу за такою схемою: варіант 1 — ЗК «ЛРР»; 2 — «Лакмік»; 3 — «БАТП-Ф». Як контроль використовували філе без збагачення культурами (К). Найбільший приріст життєздатних молочнокислих бактерій (відносно до кількості на 3-ю добу) спостерігали на 18-у добу у варіанті № 1 — 28,2 раза, № 2 — 7,6 та № 3 — у 10,7 раза. Обробка ЗК незалежно від виду препарату також забезпечила очищення продукту від плісняви у 18,2—3,2 раза порівняно з контролем, тоді як у контрольному продукті, виготовленому без ЗК, їхня кількість навіть збільшилась удвічі щодо початкової концентрації. Використання «ЛРР» та «Лакмік» забезпечило повну відсутність БГКП на 18-у добу визрівання продукту, тоді як обробкою ЗК «БАТП-Ф» цього досягти не вдалося (Свириденко та ін., 2010).

У дослідженні (Даниленко, & Кігель, 2013) вивчали вплив лактобактерій на спонтанну мікрофлору м'яса за умов посолу. Об'єктами досліджень були вилучені з різних джерел штами лактобацил видів: *L. plantarum*, *L. casei*, *L. rhamnosus*, *L. delbrueckii sub sp. bulgaricus* та *L. acidophilus*. Досліджено мікробний профіль за умов посолу. Встановлено, що лактобацили видів *L. plantarum*, *L. casei*, *L. rhamnosus* характеризуються вищою адаптацією до гіпертонічних розчинів, порівняно з культурами *L. acidophilus*, *L. delbrueckii sub sp. bulgaricus*.

Наведено результати біотехнологічної обробки м'ясної сировини на стадії посолу і дозрівання, внаслідок яких формується структура, колір, смако-ароматичні характеристики делікатесних виробів, забезпечується накопичення біологічно цінних нутрієнтів, що зумовлюють фізіологічну привабливість м'ясопродуктів. Автором проведена апробація пробіотичних продуктів, що містять живі клітини ацидофільних і біфідобактерій Наріне форте, Біфішка та Кефінар у технологічному циклі виробництва варено-копчених виробів зі свинини та м'яса птиці. У делікатесних виробках, що дозрівають у присутності пробіотичних мікроорганізмів, спостерігається інтенсивне накопичення вітамінів групи В, знижується рівень окислення та гідролітичного псування жиру, зменшується залишкова кількість нітриту натрію (Свириденко та ін., 2010). Застосування пробіотичних продуктів, що містять живі культури мікроорганізмів, забезпечує ніжність, насиченість та яскравість кольору, більш виражений м'ясний і копчений смак готових виробів.

У результаті виконаних досліджень встановлено суттєві переваги стартової культури Альмі 2 порівняно з культурами фірми ПБ-МП та Т-SPX за інтенсивністю зростання КУО/г та продукування молочної кислоти, зниження значень рН, формування аромату та смаку, структури та кольору ковбасного фаршу. Отримані

дані свідчать про досить активний розвиток молочнокислої мікрофлори у фарші з бактеріальним препаратом Альмі 2. Протягом усього технологічного процесу, починаючи з моменту внесення закваски, кількість молочнокислої мікрофлори у фарші з препаратом Альмі 2 перевищувала на один-два порядки її рівень у фарші з препаратами ПБ-МП та Т-SPX. Найбільш динамічно у фарші ковбас з бактеріальним препаратом Альмі 2 змінюються і значення рН. За до 15 діб, в період опади та сушіння, з рН=5,8 до рН=4,65 у фарші з білого м'яса птиці та з рН=6,34 до рН=5,12 у фарші з червоного м'яса

Вивчено здатність заквасок молочнокислих бактерій продукувати гамма-аміномасляну кислоту (ГАМК) під час ферментації ковбас (Yu, Choi, & Hwang, 2017). Серед 305 штамів молочнокислих бактерій, виділених із зразків кімчі, 11 штамів були обрані як кандидати на закваску за такими критеріями: швидкість росту, здатність знижувати рН і продуктивність біогенних амінів, включаючи активність, що продукує ГАМК. Під час випробувань *in vitro* штами Y8 (*Lactobacillus brevis*), O52 і KA20 виробляли 39,00±1,36; 49,73±3,80 і 64,59±0,61 мг/кг ГАМК відповідно. Цікаво, що хоча ізолят Y8 продемонстрував низьку продуктивність *in vitro*, вміст ГАМК, який він виробляв під час тестів *in situ* (61,30±2,61 мг/кг), був подібним до вмісту ізоляту PM3 (*L. brevis*), який використовувався як позитивний контроль (69,64±2,20 мг/кг). Тож ізолят Y8 був обраний як найкраща функціональна закваска для виробництва ферментованої ковбаси, оскільки він демонстрував швидкий ріст, безпеку та високу продуктивність ГАМК.

Китайська ферментована ковбаса — це відомий ферментований м'ясний продукт зі складною мікробіотою, яка потенційно впливає на смак і якість. *Lactobacillus plantarum* MSZ2 і *Staphylococcus xylosus* YCC3 використовувалися як закваски для з'ясування змін у метаболічних шляхах бактерій і накопиченням смакових сполук під час процесу дозрівання ферментованих ковбас. Високопродуктивна технологія секвенування й твердофазна мікроекстракція, газова хроматографія, мас-спектрометрія (HS-SPME-GC/MS) були застосовані для характеристики профілів різноманітності бактерій, метаболічних шляхів і ароматичних сполук у зразках ковбас на 6 і 12 дні під час дозрівання. Результати показали, що *Lactobacillus*, *Staphylococcus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc* і *Weissella* були найпоширенішими родами бактерій, знайденими у зразках ковбаси на всіх стадіях ферментації. Функціональне прогнозування виявляє велику кількість 12 різних метаболічних шляхів, найважливішими з яких є вуглеводний обмін, нуклеотидний обмін, ліпідний обмін і амінокислотний обмін. Загалом у зразках ферментованих ковбас було успішно ідентифіковано 63 летких сполуки. Кореляційний аналіз показав, що *Staphylococcus* і *Leuconostoc* були тісно пов'язані з утворенням ароматичних сполук. Результати цього дослідження будуть корисними щодо майбутнього використання мікробіоти для покращення смаку, якості та збереження ферментованих ковбас (Wang та ін., 2022).

Біогенні аміни (БА) у ковбасах становлять ризик для здоров'я споживачів, тому дослідження механізму накопичення БА, як і контроль вмісту в готовому продукті, є важливим. У дослідженні (Li та ін., 2019) були оцінені профілі БА 16 типових зразків китайської ковбаси, і в різних зразках було виявлено 8 видів загальних БА. Загалом, вміст БА у більшості зразків китайської ковбаси був у межах

безпечного діапазону доз, за винятком того, що загальний БА та концентрація гістаміну в зразку HBBD були вищими за рівні токсичних доз. Крім того, бактеріальні та грибові спільноти зразків китайської ковбаси були досліджені за допомогою високопродуктивного секвенування, і *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Debaryomyces* і *Aspergillus* ідентифіковані як переважаючі роди. Відповідно, 13 репрезентативних штамів були відібрані з домінуючих родів для оцінки їхніх властивостей утворення та деградації БА. Результати модельного експерименту з ферментованим м'ясом показали, що ізоляти *Staphylococcus pasteurii* Sp, *Staphylococcus epidermidis* Se, *Staphylococcus carnosus* Sc1, *Staphylococcus carnosus* Sc2 і *Staphylococcus simulans* Ss можуть значно зменшити БА, маючи потенціал як стартові культури для контролю над БК у ферментованих м'ясних продуктах. Це дослідження не тільки допомогло пояснити механізм накопичення БК у китайській ковбасі, але й дозволило виявити кандидатів для потенційного контролю БК у ферментованих м'ясних продуктах.

Наступне дослідження мало на меті зрозуміти зміну мікробіоти, спричинену різними заквасками, та їхній вплив на розвиток смаку китайських ферментованих ковбас. Результати показали, що рід бактерій (67,6%) і рН (32,4%) були ключовими факторами, що впливають на профіль летючих сполук. Інокульовані закваски, що складаються з *Pediococcus* і стафілококів, підтримували стабільні моделі сукцесії спільноти з домінуванням стафілококів (зразки Т і S). Незважаючи на те, що кисле середовище (рН<5,2) спричиняло коливання в групі сукцесії, інокуляція *Latilactobacillus paracasei* (зразок Y) підтримувала мікробну різноманітність і сприяла накопиченню альдегідів і складних ефірів. У зразку, інокульованому закваскою з *Latilactobacillus* і *Staphylococcus*, також підтримувалося мікробне різноманіття, помірно кисле середовище (рН>5,4) призвело до стабільної послідовності мікробіоти, що не сприяло накопиченню альдегідів, спиртів і складних ефірів (Zhang та ін., 2023).

Вчені (Xiao, Liu, & Li, 2020) дослідили вплив інокуляції *Lactobacillus plantarum* R2 і *Staphylococcus xylosum* A2 на мікробну спільноту, ліполіз, протеоліз і летючі сполуки в китайських сухих ферментованих ковбасах. Для оцінки бактеріальних спільнот використовували культурально залежні та культурально незалежні високопродуктивні методи секвенування. Результати показали, що загальний вміст вільних жирних кислот (ВЖК) і вільних амінокислот (ВЖА) збільшувався при інокуляції стартових культур, особливо змішаної культури. В інокульованих ковбасах спостерігалось достовірне зниження рН та активності води ($p < 0,05$). Крім того, обробка інокуляцією підвищила конкурентоспроможність домінантних бактерій і пригнітила ріст небажаних мікроорганізмів. Це сприяло вивільненню FFA та FAA та запобігало утворенню неприємного присмаку й згіркості. Отже, розвиток смаку в інокульованих сухих ферментованих ковбасах пояснюється покращенням мікробіологічної якості.

У дослідженні (Zheng, Wang, & Xu, 2024) розглянуто вплив інокуляції різними комбінаціями заквасок (*Lactiplantibacillus plantarum* YR07, *Latilactobacillus sakei* L. 48, *Staphylococcus xylosum* S.14 і *Mammaliicoccus sciuri* S.18) на якість ковбас. Інокуляція змішаними заквасками сприяла деградації білка з утворенням амінокислот і перетворенням на леткі сполуки, що посилювало характерний смак фер-

ментованих ковбас. Аналіз бактеріальної спільноти продемонстрував, що інокуляція змішаних заквасок може пригнічувати ріст патогенних і сапрофітних бактерій, зменшуючи таким чином загальний вміст біогенних амінів. Кореляційний аналіз між основними бактеріями та характерними леткими сполуками показав, що ферментовані ковбаси, інокульовані *Lactobacillus* та коагулазонегативними стафілококами, продемонстрували значні позитивні кореляції з більшістю ключових характерних летких сполук. У чотирьох варіантах обробка продукції *L. plantarum* YR07 і *M. sciuri* S.18 значно сприяла утворенню характерних летких сполук (3-гідрокси-2-бутанон, гексанал і 1-октен-3-ол). Тож комбінована інокуляція *L. plantarum* YR07 і *M. sciuri* S.18 є перспективною для покращення профілю смаку та безпеки ферментованої ковбаси.

Мета дослідження (Shao, Wang, & Xu, 2024) полягала в тому, щоб дослідити та порівняти вплив різних змішаних заквасок (*Lactiplantibacillus plantarum* і *Staphylococcus simulans*) на бактеріальні спільноти та смак ферментованих ковбас. Результати показали, що нативні закваски добре розвивалися у ферментованих ковбасах і стали домінуючими в кінці дозрівання. Серед них *Lactobacillus* spp. мав найвищу відносну чисельність, а потім — *Staphylococcus* spp. Крім того, інокуляція змішаних заквасок сприяла утворенню смакових і ароматичних сполук, які сприяють загальному аромату ферментованих ковбас. Серед них було виявлено, що обробка *L. plantarum* CQ01107+*S. simulans* CD207 (ССА) має найвищий вміст амінокислот, нуклеотидів, молочної кислоти, жирних кислот і кетонів ($p < 0,05$), а також чудові сенсорні властивості. Підсумовуючи, слід зазначити, що закваска ССА може бути бажаною закваскою для посилення смаку ферментованих ковбас.

Молочнокислі бактерії, виділені з традиційного продукту зі свинини Dong (Nanx Wudl), були досліджені (Chen та ін., 2016) на предмет їх потенціалу як заквасок для китайських ферментованих сухих ковбас. На підставі попереднього скринінгу, *Lactobacillus plantarum* CMRC6 і *Lactobacillus sakei* CMRC15 демонструють відмінну нітритвідновлювальну здатність. Внесення заквасок у фарш проводили у вигляді одноштамових стартових культур. Для порівняння також була протестована комерційна композитна закваска. У ковбасах, інокульованих CMRC6 та CMRC15, молочнокислі бактерії домінували в мікрофлорі та покращували мікробіологічну безпеку шляхом пригнічення росту *Enterobacteriaceae*. Вміст нітритів у всіх інокульованих ковбасах швидко знижувався під час дозрівання порівняно з неінокульованими. Аналіз профілів текстури показав, що інокульовані ковбаси мають більш виражений структурний розвиток під час дозрівання. Органолептична оцінка показала, що ковбаси, ферментовані CMRC6 і CMRC15, мають порівняні або більш бажані органолептичні характеристики, ніж ковбаси, виготовлені з комерційних заквасок. Отже, CMRC6 і CMRC15 є перспективними кандидатами як багатофункціональні закваски для мікробіологічної безпеки та контролю залишкових нітритів у виробництві вишуканих китайських сухих ковбас.

У дослідженні (Qiuhui, Zhang та ін., 2024) було проаналізовано п'ять штамів бактерій, відібраних із в'яленого м'яса за допомогою технології 16S рДНК. Було обрано функціональну місцеву закваску, яку застосовували у виробництві в'яленого м'яса для стандартизації характеристик і покращення якості в'яленого м'яса. Виявлено, що *L. mesenteroides* і *S. lactis* ідеальні. *L. mesenteroides* і *S. lactis* вико-

ристовували як закваски у виробництві ферментованого бекону. Потім порівнювали якість ферментованої яловичини з сичуанським, хунанським і сін्यानським беконом. Результати свідчать, що *L. mesenteroides* і *S. lactis* можуть покращувати сенсорні та текстурні властивості продуктів і зменшувати вміст вологи, активність води, знижувати значення рН і вміст білка в продуктах з ферментованої яловичини. Що ще важливіше, *L. mesenteroides* може значно знизити вміст нітритів (25,34%) і нітрозамінів (29,69%) у ферментованій яловичині, що забезпечує гарантію безпеки в'яленого м'яса. У цьому дослідженні функціональний ферментаційний штаб (*L. mesenteroides* може знизити вміст нітритів у ферментованих м'ясних продуктах і покращити їх сенсорні та текстурні властивості) був відібраний, щоб отримати певне еталонне значення для подальшого розвитку функціональних штамів, придатних для ферментованих м'ясних продуктів.

У дослідженні (Mrkonjić та ін., 2021) розглядається застосування нативних заквасок кількох штамів для стандартизації виробництва ковбас з дичини. Розроблені закваски, що складаються з двох місцевих штамів *Lactobacillus sakei* та одного *Leuconostoc mesenteroides*. Ці штаби використовували як в інкапсульованому, так і в неінкапсульованому вигляді, додаючи у фарш з м'яса дичини окремо або в комбінації. Мікробіологічні та фізико-хімічні характеристики ковбас контролювали протягом усього процесу виробництва, а в кінцевих продуктах оцінювали органолептичні властивості, вміст біогенних амінів і летких сполук. Як показало гер-PCR, нативні закваски, інкапсульовані чи неінкапсульовані, вижили протягом усього процесу виробництва ковбаси, однак різною мірою. Застосування індигеного декарбоксілазонегативного штаба *Lb. sakei* значно ($p < 0,05$) знижувало вміст тираміну, рН і сприяло зменшенню кількості *Enterobacteriaceae* та *E. coli*, *L. monocytogenes* та *coliforms* у готових до споживання продуктах. Загалом, за допомогою SPME-GC-MS було ідентифіковано 84 леткі сполуки у восьми оброблених партіях ковбас з дичини, лише з незначними відмінностями між обробками. Значних відмінностей в органолептичних ознаках ($p > 0,05$) між трестованими зразками не виявлено, хоча продукти, оброблені *Lb. sakei*, отримали найвищі бали за комплекс властивостей, включаючи вигляд поперечного зрізу, смак, твердість, аромат і загальну прийнятність. Комбінація штамів *Lb. sakei* призвела до запобігання росту небажаної мікробіоти, зниження вмісту тираміну та підвищення параметрів прийнятності повністю дозрілих ковбас, що робить їх хорошими кандидатами для впровадження у виробництво.

М'ясо може бути заражене патогенними мікроорганізмами під час забою, розтину та пакування. Вчені (Drevin, Plötz, & Krischek, 2023) вперше дослідили, чи впливає застосування гідрохлориду етил- α -додеканіл-L-аргінату (LAE) і бактерій закваски *Staphylococcus carnosus* і *Lactobacillus sakei*, окремо або в комбінації, на кількість бактерій у свинині, курятині та яловичині. Зразки були контаміновані *Brochothrix (Br.) thermosphacta* (усі види м'яса) або *Salmonella (S.) Typhimurium* (свинина), *Campylobacter (C.) jejuni* (курка) та *Listeria (L.) monocytogenes* (яловичина) перед пакуванням у модифікованій атмосфері з технологічним терміном зберігання 7 і 14 днів. Для оцінки впливу обробки під час зберігання додатково аналізували фізико-хімічні показники, забарвлення та відсотковий вміст окисно-відновної форми міоглобіну. LAE регулярно призводив до значного зменшення кількості всіх видів бактерій на 1-й день зберігання, тоді як до 14-го дня цей ефект

втрачався у всіх зразках, за винятком яловичини з *Br. thermosphacta*. В зразках із закваскою на 1-й день значно зменшилась тільки кількість *L. monocytogenes* на яловичині. Цікаво, що на 7-й день зберігання цей знижувальний ефект також був виявлений для *Salmonella Typhimurium* на свинині. На *Br. thermosphacta* бактерії закваскової культури не впливали. На фізико-хімічні показники одноштамова та комбінована обробки достовірно не впливала. Результати вказують на те, що LAE головним чином відповідає за антимікробну дію, і що поєднання з бактеріями закваски слід оцінювати індивідуально для виду м'яса.

Була також оцінена здатність *Lactobacillus sakei* CRL1862 запобігати росту патогенів та розкладати саркоплазматичні та міофібрилярні білки у виробках зі свинини (Castellano, Aristoy, & Toldrá, 2012). Крім того, аналізували вплив *Lact. sakei* CRL1862 на основні аспекти безпеки, такі як виробництво біогенних амінів і чутливість до антибіотиків. Бактеріоцин — (метаболіт *Lact. sakei* CRL1862) продемонстрував відповідно бактерицидну та бактериостатичну дію проти *Listeria monocytogenes* та *Staphylococcus aureus* у дослідженій ковбаси протягом 9 днів зберігання при 22 °C. Гідролітична дія на білкові екстракти оцінювалася за допомогою SDS-PAGE та ВЕРХ з оберненою фазою. В інокульованих саркоплазматичних білках виявлено більш виражений протеоліз порівняно з міофібрилярними екстрактами з утворенням переважно гідрофільних пептидів і підвищенням загальної концентрації вільних амінокислот. *Lactobacillus sakei* CRL1862 не продукував ані гістаміну, ані тирозину і не виявив стійкості до досліджуваних антибіотиків.

Висновки

Біосинтез пробіотичних культур для ковбасної промисловості є важливим етапом у технологіях виробництва якісних м'ясних продуктів. Роль заквасок у процесі виробництва ковбас надзвичайно велика, оскільки вони допомагають створити оптимальні умови для формування органолептичних показників і росту корисних мікроорганізмів. Одна з популярних заквасок для сирокочених ковбас, RedSTART (виробник «NAYA Sweiz GmbH» Швейцарія), складається з *Staphylococcus xylosum*, *Staphylococcus carnosus* в співвідношенні 1:1. Штами, що використовуються, мають важливі властивості, такі як здатність до швидкого росту, вироблення корисних біологічно активних речовин, пригнічення сапрофітної та патогенної мікрофлори.

За нашими висновками, оптимальним є збагачення заквасок для м'ясної промисловості пробіотичними мікроорганізмами *Lactobacillus sakei* CRL1862 в кількості не менш 20% від складу. В результаті ферментації такою сумішшю готовий продукт, окрім відмінних органолептичних і нутрієнтних показників, отримує додаткові корисні властивості, які сприяють підтриманню стану здоров'я та підвищенню імунітету споживачів. Отже, використання пробіотичних культур як складової заквасок при виробництві ковбасних виробів є важливим напрямком для підвищення якості, корисності та біологічної цінності продукції.

Література

Авакян, М. (2012). Дослідження якості січених напівфабрикатів із м'яса птиці. Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв, готельного, ресторанного господарств і торгівлі: тези доп. Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів. Харків: ХДУХТ.

- Даниленко, С., Кігель, Н. (2013). Вплив лактобактерій на спонтанну мікрофлору м'яса. *Продовольчі ресурси*, (1). 50—57.
- Кишенько, І., Топчій, О., Крижова, Ю., Рибачук, О. (2014). Стартові культури для ферментації сировопечених ковбас. *Харчова наука і технологія*, (3). 23—26.
- Свириденко, Т., Король, Ц., Даниленко, С., Усатенко, Н., Кігель, Н. (2010). Вплив бактеріальних препаратів на ферментацію м'яса птиці. *Вісник аграрної науки*, (6). 58—61.
- Vaka, A., Papavergou, E., Pragalaki, T., Bloukas, J., Kotzekidou, P. (2011). Effect of selected autochthonous starter cultures on processing and quality characteristics of Greek fermented sausages. *LWT — Food Science and Technology*, 44(1). 54—61. doi: 10.1016/j.lwt.2010.05.019.
- Ammara, A. et al. (2021). Inoculation of *Lactobacillus sakei* on Quality Traits of Dry Fermented Sausages. *Preventive nutrition and food science*, 26(4). 476—484. doi:10.3746/pnf.2021.26.4.476.
- Ba, H. V., Seo, H. W., Seong, P. N., Kang, S. M., Kim, Y. S., Cho, S. H., Park, B. Y., Ham, J. S., Kim, J. H. (2018). *Lactobacillus plantarum* (KACC 92189) as a Potential Probiotic Starter Culture for Quality Improvement of Fermented Sausages. *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.* 38(1).189—202. doi: 10.5851/kosfa.2018.38.1.189. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5932973/>.
- Бурцева, Г., Даниленко, С., Кігель, Н., Жукова, Я. (2011). Вплив бактеріального препарату «МКС» на протеоліз у сиров'ялених м'ясних продуктах. *Вісник Львівського університету*, 57. 200—206.
- Castellano, P., Aristoy, M. C., Sentandreu, M. A., Vignolo, G., & Toldrá, F. (2012). *Lactobacillus sakei* CRL1862 improves safety and protein hydrolysis in meat systems. *Journal of applied microbiology*, 113(6). 1407—1416. <https://doi.org/10.1111/jam.12005>.
- Chen, X., Li, J., Zhou, T., Li, J., Yang, J., Chen, W., & Xiong, Y. L. (2016). Two efficient nitrite-reducing *Lactobacillus* strains isolated from traditional fermented pork (Nanx Wudl) as competitive starter cultures for Chinese fermented dry sausage. *Meat science*, 121. 302—309. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.06.007>.
- de L. Agüero, N., Frizzo, L. S., Ouwehand, A. C., Aleu, G., Rosmini, M. R. (2020). Technological Characterisation of Probiotic Lactic Acid Bacteria as Starter Cultures for Dry Fermented Sausages. *Foods*, 9(5). 596. Published 2020 May 7. doi:10.3390/foods9050596.
- Dias, I., Laranjo, M., Potes, M. E. et al. (2020). Autochthonous Starter Cultures Are Able to Reduce Biogenic Amines in a Traditional Portuguese Smoked Fermented Sausage. *Microorganisms*, 8(5). 686. Published 2020 May 8. doi:10.3390/microorganisms8050686.
- Drevin, M., Plötz, M., & Krischek, C. (2023). Investigation of the Suitability of a Combination of Ethyl-*N*-dodecanyl-L-arginat_HCl (LAE) and Starter Culture Bacteria for the Reduction of Bacteria from Fresh Meat of Different Animal Species. *Foods* (Basel, Switzerland), 12(22). 4138. <https://doi.org/10.3390/foods12224138>.
- Gu, Y., Qiao, R., Jin, B., He, Y., Tian, J. (2023). Effect of *Limosilactobacillus fermentum* 332 on physicochemical characteristics, volatile flavor components, and Quorum sensing in fermented sausage. *Sci. Rep.*, 13(1). 3942. doi: 10.1038/s41598-023-31161-2.
- Hu, P. et al. (2023). Investigating the effect on biogenic amines, nitrite, and N-nitrosamine degradation in cultured sausage ripening through inoculation of *Staphylococcus xylosus* and *lactic acid bacteria*. *Frontiers in microbiology*, 14. 1156413. doi:10.3389/fmicb.2023.1156413.
- Kim, H. S., Lee, S. Y., Kang, H. J., Joo, S. T., Hur, S. J. (2019). Effects of Six Different Starter Cultures on Mutagenicity and Biogenic Amine Concentrations in Fermented Sausages Treated with Vitamins C and E. *Food Sci. Anim. Resour.* 39(6). 877—887. doi: 10.5851/kosfa. 2019.e 66.
- Kryzhaska, T. Дослідження ефективності використання бактеріальних препаратів на якісні характеристики делікатесних виробів. (2017). *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 19.75. 76—80.
- Li, L., Zou, D., Ruan, L., Wen, Z., Chen, S., Xu, L., & Wei, X. (2019). Evaluation of the Biogenic Amines and Microbial Contribution in Traditional Chinese Sausages. *Frontiers in microbiology*, 10. 872. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00872>.

Liu, R., Ma, Y., Chen, L., Lu, C., Ge, Q., Wu, M., Xi, J., Yu, H. (2023). Effects of the addition of leucine on flavor and quality of sausage fermented by *Lactobacillus fermentum* YZU-06 and *Staphylococcus saprophyticus* CGMCC 3475. *Front Microbiol.*, 13. 1118907. doi: 10.3389/fmicb.2022.1118907.

Liu, Y., Wan, Z., Yohannes, K. W., Yu, Q., Yang, Z., Li, H., Liu, J., Wang, J. (2021). Functional Characteristics of *Lactobacillus* and Yeast Single Starter Cultures in the Ripening Process of Dry Fermented Sausage. *Front Microbiol.*, 11. 611260. doi: 10.3389/fmicb.2020.611260.

Mrkonjic Fuka, M., Kos, I., Maksimovic, A. Z., Bacic, M., & Tanuwidjaja, I. (2021). Proteolytic *Lactococcus lactis* and Lipolytic *Enterococcus durans* of Dairy Origin as Meat Functional Starter Cultures. *Food technology and biotechnology*, 59(1), 63—73. <https://doi.org/10.17113/ftb.59.01.21.6872>.

Mrkonjic Fuka, M., Zgomba Maksimovic, A., Hulak, N., Kos, I., Marusic Radovic, N., Juric, S., Tanuwidjaja, I., Karolyi, D., & Vincekovic, M. (2021). The survival rate and efficiency of non-encapsulated and encapsulated native starter cultures to improve the quality of artisanal game meat sausages. *Journal of food science and technology*, 58(2). 710—719. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04587-z>.

Najjari, A., Boumaiza, M., Jaballah, S., Boudabous, A., Ouzari, H. I. (2020). Application of isolated *Lactobacillus sakei* and *Staphylococcus xylosus* strains as a probiotic starter culture during the industrial manufacture of Tunisian dry-fermented sausages. *Food Sci. Nutr.*, 8(8). 4172—4184. doi: 10.1002/fsn3.1711.

Seleshe, S., Kang, S. N. (2021). Effect of Different *Pediococcus pentosaceus* and *Lactobacillus plantarum* Strains on Quality Characteristics of Dry Fermented Sausage after Completion of Ripening Period. *Food Sci. Anim. Resour.*, 41(4). 636—649. doi: 10.5851/kosfa.2021.e21.

Shao, X., Wang, H., Song, X., Xu, N., Sun, J., & Xu, X. (2024). Effects of different mixed starter cultures on microbial communities, taste and aroma compounds of traditional Chinese fermented sausages. *Food chemistry: X*, 21. 101225. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101225>.

Tian, J. et al. (2023). Influence of *Lactobacillus helveticus* ZF22 and TR1-1-3 strains on the aromatic flavor of fermented sausages. *Frontiers in nutrition*, 9. 1058109. doi:10.3389/fnut.2022.1058109.

Wang, D., Hu, G., Wang, H., Wang, L., Zhang, Y., Zou, Y., Zhao, L., Liu, F., Jin, Y. (2021). Effect of Mixed Starters on Proteolysis and Formation of Biogenic Amines in Dry Fermented Mutton Sausages. *Foods*, 10(12). 2939. doi: 10.3390/foods10122939.

Wang, D. et al. Effects of different starter culture combinations on microbial counts and physico-chemical properties in dry fermented mutton sausages. *Food science & nutrition*, 7(6). 1957—1968. doi:10.1002/fsn3.989.

Wang, J., Aziz, T., Bai, R., Zhang, X., Shahzad, M., Sameeh, M. Y., Khan, A. A., Dabool, A. S., & Zhu, Y. (2022). Dynamic change of bacterial diversity, metabolic pathways, and flavor during ripening of the Chinese fermented sausage. *Frontiers in microbiology*, 13, 990606. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.990606>.

Wang, J. et al. (2022). Improving the Flavor of Fermented Sausage by Increasing Its Bacterial Quality via Inoculation with *Lactobacillus plantarum* MSZ2 and *Staphylococcus xylosus* YCC3. *Foods* (Basel, Switzerland), 11(5). 736. doi:10.3390/foods11050736.

Xiao, Y., Liu, Y., Chen, C., Xie, T., & Li, P. (2020). Effect of *Lactobacillus plantarum* and *Staphylococcus xylosus* on flavour development and bacterial communities in Chinese dry fermented sausages. *Food research international* (Ottawa, Ont.), 135, 109247. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109247>.

Xu, Y. and Yinglian Z. (2021). Complete Replacement of Nitrite With a *Lactobacillus fermentum* on the Quality and Safety of Chinese Fermented Sausages. *Frontiers in microbiology*, 12. 704302. doi:10.3389/fmicb.2021.704302.

Yu, H. H., Choi, J. H., Kang, K. M., & Hwang, H. J. (2017). Potential of a lactic acid bacterial starter culture with gamma-aminobutyric acid (GABA) activity for production of fermented sausage. *Food science and biotechnology*, 26(5), 1333—1341. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0161-8>.

Zhang, D., Yang, P., Liu, K., Wu, L., Li, G., Zhang, H., Ma, X., Rong, L., & Li, R. (2023). The effective of bacterial community dynamics driven by different starter cultures on the flavor development of Chinese fermented sausages. *Food chemistry: X*, 19, 100838. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100838>.

Zhang, Q., Shen, J., Meng, G. et al. (2024). Screening and application of functional autochthonous starter culture from cured meat, which can reduce nitrite content. *Int Microbiol*. <https://doi.org/10.1007/s10123-024-00606-7>.

Zheng, S. S., Wang, C. Y., Hu, Y. Y., Yang, L., & Xu, B. C. (2024). Enhancement of fermented sausage quality driven by mixed starter cultures: Elucidating the perspective of flavor profile and microbial communities. *Food research international* (Ottawa, Ont.), 178, 113951. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.113951>

Zommiti, M., Cambronel, M., Maillot, O., Barreau, M., Sebei, K., Feuilloy, M., Ferchichi, M., Connil, N. (2018). Evaluation of Probiotic Properties and Safety of *Enterococcus faecium* Isolated from Artisanal Tunisian Meat "Dried Ossban". *Front Microbiol.*, 9, 1685. doi: 10.3389/fmicb.2018.01685.

APPROACHES TO ENSURING FOOD SECURITY IN THE CONDITIONS OF MODERN CHALLENGES

O. Boki

Institute of Food Resources of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Key words:

*Food security
Modern challenges
Conceptual scheme
FAO principles
Evaluation of indicators
Ensuring*

Article history:

Received 11.09.2024
Received in revised form
26.09.2024
Accepted 10.10.2024

Corresponding author:

O. Boki

E-mail:

mkt_inprod_naana@ukr.net

Citation: Бокій О. В. (2024). Підходи до забезпечення продовольчої безпеки в умовах сучасних викликів. *Наукові праці НУХТ*, 30(5), 87—103.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-8

ABSTRACT

The relevance of the study is due to the growing role of food security in the conditions of modern risks and the need to modernize scientific approaches to the basic principles of food security and assessment.

The purpose of the work was to improve the basic principles of food security and approaches to its assessment in the conditions of modern challenges. The evolution of the concept of food security at the legislative level in Ukraine were analyzed. In particular, the new edition of the Law "On National Security" does not single out food security, unlike the previous one. In retrospect, based on the experience of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), the evolution of the fundamental concepts and principles of food security in the world, which cover the directions of availability, access, use and stability, is explored. The expediency of approving the main principles and concepts of food security and its strategic directions at the legislative level has been revealed. The National Methodology for assessing food security needs to be updated, taking into account modern realities. The proposed conceptual model of ensuring food security in the context of achieving the Sustainable Development Goals takes into account internal and external challenges, factors and opportunities and should serve as an effective tool for the formation of agricultural policy directions in the field of food security, improvement of the basic principles of food security. The sequence of actions regarding the implementation of the basic principles and monitoring of food security should contain 10 main directions, including the approval of the concepts and algorithm of its monitoring, adaptation of global approaches to the assessment of food security at the national level. Food security assessment approaches should take into account FAO principles, and the results should be regularly published on government web resources.

ПІДХОДИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ

О. В. Бокій

Інститут продовольчих ресурсів НААН України

Актуальність дослідження обумовлена зростанням ролі продовольчої безпеки в умовах сучасних ризиків і необхідністю осучаснити наукові підходи до основних засад продовольчої безпеки та оцінки.

Мета статті полягала в удосконаленні основних засад продовольчої безпеки і підходів до її оцінки в умовах сучасних викликів. Проаналізовано еволюцію поняття продовольчої безпеки на законодавчому рівні в Україні. З'ясовано, що нова редакція Закону України «Про національну безпеку» не виокремлює продовольчу безпеку, на відміну від попередньої. У ретроспективі на досвіді Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО) досліджено еволюцію основоположних понять і принципів продовольчої безпеки у світі, які охоплюють напрями наявності, доступу, використання і стабільності. Виявлено доцільність затвердження на законодавчому рівні основних принципів і понять продовольчої безпеки, її стратегічних напрямів. Потребує оновлення національна методика з оцінки продовольчої безпеки з урахуванням сучасних реалій. Запропонована концептуальна модель забезпечення продовольчої безпеки у контексті досягнення цілей сталого розвитку враховує внутрішні та зовнішні виклики, чинники і можливості та має слугувати дієвим інструментом для формування напрямів аграрної політики у галузі продовольчої безпеки, вдосконалення основних засад продовольчої безпеки. Послідовність дій щодо реалізації основних засад та моніторингу продовольчої безпеки має містити 10 основних напрямів, серед яких затвердження понять та алгоритму її моніторингу, адаптація світових підходів до оцінки продовольчої безпеки на національному рівні. Підходи до оцінки продовольчої безпеки мають враховувати принципи ФАО, а результати — регулярно оприлюднюватися на державних веб-ресурсах.

Ключові слова: *продовольча безпека, сучасні виклики, концептуальна схема, принципи ФАО, оцінка показників, забезпечення.*

Постановка проблеми. Забезпечення продовольчої безпеки в Україні і світі є нагальною світовою проблемою, оскільки повноцінне харчування задовольняє повсякденні першочергові потреби людини, впливає на стан здоров'я та всі сфери життєдіяльності. За даними ФАО і Всесвітнього банку, у 2024 р. продовольча безпека буде однією із найбільш критичних проблем. І саме тому Всесвітній банк включив питання продовольчої безпеки і продовольчого забезпечення до восьми найбільш глобальних проблем людства, що потребують мобілізації ресурсів та захисту доходів громадян у світі. Вартість допомоги банку оцінюється у 45 млрд дол. США, що в 1,5 раза перевищує попередньо заплановані у 2022 р. кошти (Worldbank, 2024).

В умовах глобалізації сучасного світу та викликів, що стоять перед продовольчими системами країн, вирішення проблеми продовольчої безпеки стає пріори-

тетним, а сучасні реалії обумовлюють необхідність нових підходів до концептуальної складової та оцінки її рівня. Важливо також враховувати випадки, коли продовольство в країні виробляється в достатній кількості, але значна частина населення не може його придбати через обмежену купівельну спроможність або неможливість фізичного доступу до продукції.

Сучасний розвиток економіки та виклики війни, пандемії, глобального потепління призводять до погіршення ситуації у продовольчому секторі, що впливає на продовольче забезпечення населення та знижує рівень продовольчої безпеки. Водночас продовольча система характеризується новими можливостями, що обумовлені сучасними інноваційними досягненнями у продовольчій сфері, зміною структури харчування у бік оздоровчої продукції для все більшого прошарку населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методичні підходи до основних засад продовольчої безпеки, показників її оцінки, діяльності продовольчої системи і харчової промисловості в її складі, спрямованої на зміцнення продовольчої безпеки, досліджували у своїх працях вітчизняні та зарубіжні вчені: М. Сичевський, О. Коваленко, В. Гобела, С. Мельник, М. Курляк, А. Allee, R. Moore та багато інших видатних вчених.

У праці (Сичевський, 2019) розглядаються питання глобальної продовольчої безпеки та місця України в її досягненні. Автором проаналізовано рейтинг країн за рівнем продовольчої безпеки GSFI. Як показує рейтинг, Україна, маючи високий аграрний потенціал, відстає від країн-сусідів — Польщі, Угорщини, Румунії, Білорусі. Важливий індикатор — ВВП на одну особу, є показником індивідуального доходу і доступності продовольства.

Коваленко О. із співавторами (Коваленко, Куць, & Бокій, 2020) наголошують на концептуальних засадах економічної політики і механізмах розвитку харчової промисловості, які передусім повинні бути спрямовані на досягнення продовольчої безпеки країни, а методичні підходи авторів спрямовані на структурування сфер впливу для досягнення поставлених цілей.

Викликають науковий інтерес вітчизняні дослідження щодо оцінки продовольчої безпеки під час війни за допомогою інтегрального показника (Гобела, Мельник, & Курляк, 2022). На підставі чотирьох індикаторів (економічної та фізичної доступності, якості та безпеки, сталості та адаптації до зміни клімату) вчені розраховували інтегральний показник продовольчої безпеки держави і надали безпеківі орієнтири України під час воєнного стану, а також порівняли показники України та світу.

Серед напрацьованих зарубіжних вчених слід відмітити оцінку продовольчої безпеки для людей з обмеженими можливостями, що є найбільш вразливими до її відсутності та потребують уваги з боку відповідних організацій і «стратегій втручання» на рівні громади (Moore, Dada, Emmambux, & Samuels, 2021).

У (Allee, Lynd, & Vaze, 2021) досліджено чинники продовольчої безпеки на основі шкали її оцінки (FIIES) і показників Глобального індексу продовольчої безпеки (GFSI). Вчені прийшли до висновку, що найбільш впливовими чинниками на рівень продовольчої безпеки серед домогосподарств були витрати на кінцеве споживання на одну особу (HFCE). Також суттєвий вплив мали такі загальноновизнані

індикатори продовольчої безпеки, як виробництво та урожайність зернових, ефективність логістики.

Griver S. та Fischhendler I. (Griver, & Fischhendler, 2021) проаналізували соціальну конструкцію продовольчої безпеки в нестабільних умовах на прикладі Ізраїлю, які наразі притаманні і для України. Дослідники показали, що поняття продовольчої безпеки стратегічно використовувалося для визначення різноманітних питань, пов'язаних з продовольством. Зниження продовольчої безпеки було пов'язано з кризовими явищами і соціальними контекстами — війною, глобальним потеплінням, зростанням вартості життя, рівня ожиріння населення тощо.

Nicholson C. F. із співавторами (Nicholson etc., 2021) довели важливість вдосконалення індикаторів продовольчої безпеки і системи її оцінки на рівні домогосподарств і регіонів, які здебільшого зосереджені на сільськогосподарському виробництві, що визначають доступність їжі. Вчені пропонують вдосконалити підходи до оцінки продовольчої безпеки шляхом врахування показників доступу до їжі та стабільності в моделі сільськогосподарських систем.

Аналіз особливостей трансформації продовольчої системи Китаю, яка характеризується збільшенням м'яса та кормів і спрямована на зміцнення продовольчої безпеки, виявив зменшення зв'язку між трансформацією продовольчої системи країни і забезпеченістю населення продовольством, а також тенденції щодо збільшення споживання м'яса птиці та імпорту фуражного зерна (Zhao, Li, & Wang, 2023).

Сучасні дослідження вітчизняних і зарубіжних авторів охопили широке коло питань у галузі теоретичного і практичного обґрунтування питань, пов'язаних із продовольчою безпекою. Водночас нові реалії, ризики і виклики, що стоять перед продовольчими системами країн обумовлюють необхідність осучаснення основних засад продовольчої безпеки і підходів до її оцінювання та більш поглиблених досліджень. Тому питання, пов'язані зі зміцненням продовольчої безпеки та її теоретичним обґрунтуванням, є своєчасними і актуальними.

Метою дослідження є вдосконалення основних засад продовольчої безпеки і підходів до її оцінки в умовах сучасних викликів.

Матеріали і методи. У дослідженні застосовано загальнонаукові методи пізнання, методи і принципи економічної теорії. За допомогою *діалектичного та монографічного методів* оцінено основне законодавство з питань продовольчої безпеки і напрацювання продовольчої та сільськогосподарської організації ФАО щодо основних принципів і визначення продовольчої безпеки. *Метод системного узагальнення і табличний метод* застосовані при оцінці здобутків вчених відносно основних принципів та аспектів продовольчої безпеки. Концептуальну модель забезпечення продовольчої безпеки побудовано за допомогою *графічного методу і методу системного узагальнення*. Інформаційною базою досліджень слугують сайт Верховної Ради України (законодавство України), база даних Державної служби статистики України, продовольчої та сільськогосподарської організації ФАО, Міністерства соціальної політики і продовольства.

Викладення основних результатів дослідження. Проблему продовольчої безпеки на теоретичному і практичному рівні загострює військовий стан в Україні, що ускладнює логістику, гуманітарну ситуацію і доступ населення до продоволь-

ства. Внаслідок військової агресії посилилася загроза фізичній безпеці, ускладнився доступ до їжі і ліків. Згідно з доповіддю ООН, станом на 2024 рік 40% населення потребує гуманітарної допомоги, зокрема із 7 тис. мешканців, евакуйованих із Харківської області, у більшості був відсутній доступ до продовольства. Гуманітарної допомоги потребує 40% населення (ООН, 2024).

За даними Міністерства соціальної політики України (Внутрішньо переміщені особи, 2024) станом на початок 2024 р. було зареєстровано 4,9 млн лише внутрішньо переміщених осіб. Тому проблема гарантування продовольчої безпеки є однією із основоположних у світовому та загальнонаціональному масштабі, оскільки достатня кількість їжі та можливість її придбання у будь-який момент, визначає умови життєдіяльності людини.

Відносини у сфері продовольчої безпеки мають регулюватися законодавством країн, водночас в Україні чітко не прописано визначення основоположного терміну «продовольча безпека», не прийнято закон, що регулює відносини у сфері продовольчої безпеки.

Основні положення стосовно продовольчої безпеки визначені ст. 48 Конституції України, якою гарантовано достатній життєвий рівень кожного для себе і своєї сім'ї, що включає достатність харчування, одягу, житла (Конституція України, 2016). У Законі від 19.06.2003 № 964-IV «Про основи національної безпеки України», який втратив чинність, забезпечення продовольчої безпеки визначалося як пріоритет національної безпеки (Про основи національної безпеки України, 2003). До загроз національної безпеки Законом було віднесено критичний стан із продовольчим забезпеченням населення і неконтрольоване ввезення в Україну екологічно небезпечних технологій, речовин, матеріалів і трансгенних рослин, збудників хвороби, небезпечних для людей, тварин, рослин і організмів, економічно необґрунтоване використання генетично змінених рослин, організмів, речовин і похідних продуктів.

Водночас у новій редакції Закону «Про національну безпеку України» 2018 р., зміни до якого прийнято у 2023 р., продовольчу безпеку України не представлено взагалі (Про національну безпеку України, 2018).

Поняття продовольчої безпеки було закріплено в Законі України від 2004 р. «Про державну підтримку сільського господарства України» і трактувалося, як «захищеність життєвих інтересів людини, яка виражається у гарантуванні державою безперешкодного економічного доступу людини до продуктів харчування з метою підтримання її звичайної життєвої діяльності» (ст. 2.13) (Про державну підтримку сільського господарства України, 2004). Перша стаття документу наголошує, серед іншого, що «Закон визначає основи державної політики ... щодо забезпечення продовольчої безпеки населення.

У липні 2024 р. було схвалено Стратегію продовольчої безпеки України до 2027 р. та затверджено план заходів з її реалізації. У Стратегії зазначено, що «продовольча безпека країни за визначенням Продовольчої та сільськогосподарської організації Об'єднаних Націй — це система, яка чітко функціонує для забезпечення всіх прошарків населення харчовими продуктами за прийнятими фізіологічними нормами за рахунок власного виробництва та необхідного імпорту тих продуктів харчування, для виробництва яких відсутні внутрішні умови». Опера-

ційним планом заходів з реалізації Стратегії передбачені завдання у галузі сприяння виробництва харчових продуктів, забезпечення економічної доступності продовольства і безпекової компоненти продовольчої безпеки (Про схвалення Стратегії продовольчої безпеки України на період до 2027 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації, 2024).

В умовах воєнного стану було прийнято Закон України, яким внесено зміни до законодавства для забезпечення продовольчої безпеки (Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо створення умов для забезпечення продовольчої безпеки в умовах воєнного стану, 2022). Водночас основні положення закону насамперед стосуються оренди землі.

Світовою проблемою продовольчої безпеки займається продовольча і сільськогосподарська організація (ФАО) — спеціалізований заклад ООН, який очолює міжнародні зусилля у боротьбі з голодом і має за мету забезпечити продовольчу безпеку для всіх та гарантувати постійний доступ населення до високоякісного харчування. Організація нараховує 194 держави-члени, працює більш ніж у 130 країнах світу (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023). Також глобальною продовольчою безпекою опікується Всесвітня продовольча програма (WFP) — гуманітарна організація, яка була створена у 1961 р. в Римі під егідою ФАО, забезпечує щороку 4 млн т продовольства і є лауреатом нобелівської премії миру 2020 р. (World Food Programme, 2023); Міжнародний фонд сільськогосподарського розвитку МФСР — спеціалізований заклад ООН, який мобілізує фінансові ресурси для збільшення виробництва продовольства та покращення харчування населення країн, що розвиваються (International Fund for Agricultural Development, 2023). У цих країнах 75% населення за межами бідності проживає у сільській місцевості, водночас на підтримку аграрного сектору направляється лише 4% коштів світової спільноти.

У 1974 р. у межах ФАО було створено Комітет із всесвітньої продовольчої безпеки (КВПБ) зі штаб-квартирою у Римі. Комітет обговорює питання продовольчої безпеки на глобальному рівні і розробляє рекомендації для країн з питань продовольчої безпеки і харчування. У 2021 р. до КВПБ приєдналася Україна.

Комітетом із всесвітньої продовольчої безпеки було надано огляд історичної еволюції термінів «продовольча безпека», «безпека харчування» та досліджено різноманітність їх вживання. Загалом, термін «продовольча безпека» походить від вислову «свобода від голоду», що в подальшому переріс у більш широке поняття, яке охоплює наявність продовольства, доступ до нього, стабільність його постачання та використання (Global strategic framework for Food Security and Nutrition, 2017). Базове поняття продовольчої безпеки було сформульовано у часи другої світової війни, у 1943 р., коли представники 44 урядів зустрілися у США (Гот Спрінгс, штат Вірджинія). Вони прийшли до висновку необхідності надійного, належного і відповідного постачання продовольства для будь-якої людини, до того ж під терміном «належне» — розумілася кількісна складова продовольчого постачання, «відповідне» — поживний склад продовольства, що постачалося. У часи голоду розколотої війною Європи проблему «свободи від голоду» учасники конференції вважали першочерговим завданням. Для досягнення в майбутньому належного рівня харчування для кожного необхідні глобальне економічне зростання і створення робочих місць.

Продовольча і сільськогосподарська політика у 50—60-х роках двадцятого сторіччя концентрувалася передусім на підвищенні врожайності, виробництва і збуту основних сільськогосподарських культур, зокрема пшениці і рису. У цей період основні країни-експортери надлишки продовольства спрямовували на гуманітарні програми допомоги.

З метою розповсюдження поняття продовольчої безпеки у 1966 р. Організацією Об'єднаних Націй (ООН) був прийнятий Міжнародний пакт про економічні, соціальні і культурні права. У стаття 11 пакту визначалося право бути вільним від голоду, державам приписувалося прийняти заходи для «поліпшення методів виробництва, збереження і розподілу продовольства шляхом застосування технічних і наукових знань в повному обсязі і шляхом поширення інформації про принципи харчування ... «і» ... для забезпечення справедливого розподілу світових поставок продовольства в залежності від необхідності (International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights, 1966).

Неврожайний період у світі в сімдесяті роки двадцятого сторіччя призвів до вичерпання світових запасів зерна, дефіциту продовольства на ринках, підвищення цін на харчові продукти у багатьох країнах та істотного зниження наявності обсягів зернових та інших вуглеводних харчових продуктів на одну особу.

Для вирішення поточних проблем у Римі в 1974 р. відбулася Всесвітня продовольча конференція, на якій продовольчу безпеку було визначено як «постачання в усі часи і в усьому світі належних основних продуктів харчування в обсягах, достатніх для підтримки неухильного зростання споживання продовольства і регулювання коливань виробництва і цін», яке є актуальним і на сьогодні.

Від сімдесятих років двадцятого сторіччя позбавлення прав на харчування вважалося проблемою державної політики і потребувало вжиття відповідних заходів, серед яких — планування постачання продовольства.

У 1996 р. учасники Всесвітнього продовольчого саміту прийняли Римську декларацію з всесвітньої продовольчої безпеки. Було наголошено, що «продовольча безпека існує лише тоді, коли всі люди в будь-який час мають фізичний і економічний доступ до достатньої кількості безпечної та поживної їжі, що дозволяє задовольняти їх харчові потреби і переваги для ведення активного та здорового способу життя». Тобто вже у 1998 р. було визначено і затверджено чотири основні принципи продовольчої безпеки — наявність, доступ, використання, стабільність і проголошено здоровий спосіб життя. Римська декларація визначала продовольчу безпеку як стан економіки, за якого населенню країни в цілому і кожному громадянину зокрема гарантується забезпечення доступу до продуктів харчування, питної води та інших харчових продуктів такої якості, асортименту та обсягів, які необхідні та достатні для фізичного й соціального розвитку особистості, забезпечення здоров'я та розширеного відтворення населення країни. Декларація Всесвітнього саміту з продовольчої безпеки у 2009 р. підтвердила закладені у 1998 р. чотири основні принципи (Global strategic framework for Food Security and Nutrition, 2017; International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights, 1966).

Таким чином, основні принципи продовольчої безпеки на рівні ФАО змінювалися і розвивалися (рис. 1).

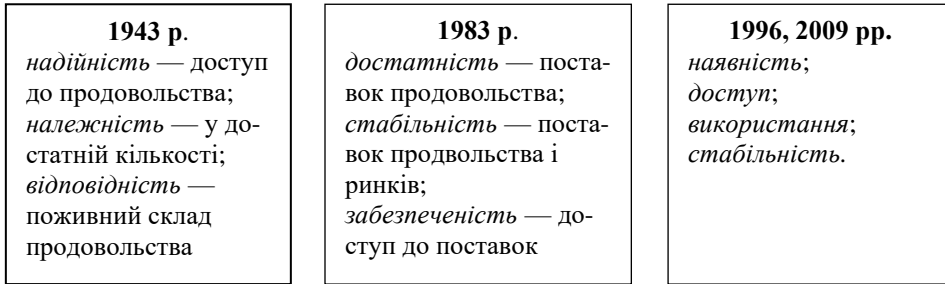


Рис. 1. Еволюція підходів до основних принципів продовольчої безпеки
Джерело: сформовано за матеріалами (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023)

Згідно із засадами ФАО, «продовольчої безпеки буде досягнуто за наявності у всіх людей постійного фізичного, соціального і економічного доступу до достатньої кількості безпечної та поживної їжі, що дає змогу задовольняти їх харчові потреби і смакові переваги для ведення активного та здорового способу життя» (Global strategic framework for Food Security and Nutrition (GSF), 2017).

Урізноманітнені підходи до визначення самого поняття продовольчої безпеки базуються передусім на напрацюваннях ФАО. Узагальнення напрацювань вчених щодо основних принципів та аспектів продовольчої безпеки дало змогу виявити її політичну, економічну та соціальну складові; принципи самозабезпеченості, стабільності, доступності, якості, збалансованості, достатності (табл. 1). З точки зору взаємозв'язків, важливо виділити такі аспекти, як причинність та управління зворотнім зв'язком.

Таблиця 1. Узагальнення напрацювань вчених щодо основних принципів та аспектів продовольчої безпеки

№ з/п	Вчені	Основні принципи та аспекти продовольчої безпеки
1	2	3
1.	Кваша І. (Кваша, 2000)	<p><i>Основні принципи продовольчої безпеки:</i></p> <p><i>Політичний</i> — здатність держави підтримувати свій стабільний позитивний міжнародний імідж як конкурентної на аграрних зовнішніх ринках країни, забезпечувати своїм громадянам споживання повноцінних харчових продуктів відповідно до прийнятих міжнародних стандартів та норм.</p> <p><i>Економічний</i> — характеризує здатність держави до мобілізації внутрішніх ресурсів і агроекономічного потенціалу країни для організації виробництва сільськогосподарської продукції та забезпечення населення продовольством здебільшого власного виробництва і таким чином гарантувати економічну самостійність, достатню незалежність від зовнішніх ринків.</p> <p><i>Соціальний</i> — визначає зайнятість населення в аграрному секторі економіки з відповідною продуктивністю праці, її оплатою, з передбаченням повного забезпечення інфраструктурними факторами функціонування сільських районів.</p>

1	2	3
2.	Манзій І. Б. (Манзій, 2008)	<p><i>Самозабезпеченість</i> — здатність держави (регіону) за рахунок власних виробничих потужностей забезпечити продовольчі потреби більшої частини населення відповідної територіально-адміністративної одиниці;</p> <p><i>стабільність</i> — підтримання безпечного рівня перехідних запасів продовольства держави;</p> <p><i>незалежність</i> — відсутність залежності від імпортних продовольчих поставок (не більше 30%);</p> <p><i>доступність</i> — забезпечення доступності кожної людини до продовольчих ресурсів в кількості, якості та асортименті, що відповідають науково-обґрунтованим нормам споживання;</p> <p><i>якість</i> — досягнення збалансованого і повноцінного рівня харчування населення за рахунок споживання високоякісних та екологічно безпечних продуктів харчування;</p> <p><i>збалансованість</i> — споживання високоякісних продуктів харчування в достатній для ведення активного й здорового життя кількості з відповідним вмістом макро- та мікроелементів для раціонального харчування;</p> <p><i>достатність</i> — доступ до продовольчих ресурсів всіх верств населення за рахунок наявного платоспроможного попиту.</p>
3.	Залізничок В. П. (Залізничок, 2018)	<p><i>Причинність</i> — визначення причинно-наслідкових зв'язків між процесами експорту, імпорту, виробництва, розподілу та споживання продуктів харчування у діалектичній послідовності;</p> <p><i>управління зі зворотним зв'язком</i> — визначення позитивних і негативних зворотних взаємовідносин в управлінні розвитком галузей національної економіки, що забезпечують населення продовольством.</p>
4.	Алексеева Я. (Алексеева, 2015)	<p><i>Забезпеченість</i> населення харчовими продуктами;</p> <p><i>фізична доступність продовольства</i> кожній людині;</p> <p><i>ефективний розвиток АПК</i>;</p> <p><i>загальний економічний ріст</i>, який дає змогу задовольняти потреби населення у харчуванні;</p> <p><i>накопичення запасів продовольства</i> на випадок надзвичайних ситуацій;</p> <p><i>рівень самозабезпеченості</i> населення і держави продовольством.</p>
5.	Малигіна В. (Малигіна, 2011)	<p><i>Наявність</i> — виробництво, використання запасів та імпорт;</p> <p><i>адекватність</i> — збалансованість харчування та безпека продовольства;</p> <p><i>стабільність</i> — навколишнього середовища, справедливий розподіл і державне регулювання сфер споживання та виробництва;</p> <p><i>ефективність використання</i> — переробка, зберігання та споживання; доступність продовольчого постачання, фізична наявність і купівельна спроможність.</p>
6.	Колісник Г. М. (Колісник, 2015)	<p><i>Соціальність</i> — передбачає цільову спрямованість кожної складової системи на задоволення харчових потреб людини;</p> <p><i>комплексність</i> — одночасний вплив на всі складові системи;</p> <p><i>системність</i> — всебічний підхід до вирішення економічних, соціальних, екологічних та інших аспектів проблеми продовольчої безпеки.</p>

1	2	3
7.	Бабич М. (Бабич, 2018)	Стан системи, рівень доступу, механізм забезпечення, поділ на рівні ієрархії.
8.	Nicholson C. F. із співавторами (Nicholson etc, 2021)	Важливість доступу до їжі та стабільності для сільськогосподарських систем і продовольчої безпеки.
9.	Griver S. та Fischhendler I. (Griver, & Fischhendler, 2021)	Використання поняття продовольчої безпеки для різноманітних проблем, що пов'язані з продовольством. Вплив кризових і соціальних явищ на рівень продовольчої безпеки.

Систематизація напрацювань вчених і фахівців ФАО щодо еволюції та визначення поняття й основних принципів та аспектів продовольчої безпеки виявила доцільність єдиного визначення на законодавчому рівні термінів і понять у галузі продовольчої безпеки та створення дієвої системи моніторингу її показників. Основні принципи та засади продовольчої безпеки мають містити політичну, економічну, соціальну та екологічну складові.

Сучасні засади продовольчої безпеки можна представити у вигляді концептуальної моделі (рис. 2). Україна, формуючи основні засади продовольчої безпеки, має наслідувати передовий досвід країн ЄС і багаторічні напрацювання ФАО.

Зовнішні чинники впливу, ризики, виклики і можливості інституційного середовища та продовольчого сектору впливають на стан продовольчої безпеки країни й продовольче забезпечення домогосподарств. Мети можна досягти у контексті досягнення Цілей сталого розвитку в галузі забезпечення продовольством і підтримання належного рівня якості життя населення.

Досягненню продовольчої безпеки сприятиме реалізація можливостей країни, зокрема виконання положень Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом, розвитку аграрного сектору, міжнародна та національна допомога, особливо у сфері підтримки вразливих верств населення.

Основні складові продовольчої безпеки відповідають основоположним принципам, проголошеним ФАО: наявність, доступ, використання, стабільність, за підтримки чистої екології та здорового харчування населення.

Підходи щодо оцінки продовольчої безпеки в Україні і світі змінювалися на етапах розвитку економіки та суспільства. На початковому етапі основними індикаторами були запаси зернових і доходи населення. Продовольча і сільськогосподарська організація ООН – ФАО розглядає продовольчу безпеку з точки зору фізичної та економічної доступності, стану харчування, стабільності ринків і водних ресурсів. У щорічних звітах ФАО «Стан справ у галузі продовольчої безпеки та харчування у світі», які були представлені у 2015 р. (попередньо під назвою «Стан справ у зв'язку з відсутністю продовольчої безпеки у світі») оцінювалися показники продовольчої безпеки в контексті досягнення Цілей сталого розвитку – насамперед індикатор розповсюдженості недоїдання (РН), показник за шкалою сприйняття відсутності продовольчої безпеки (ШСВПБ).

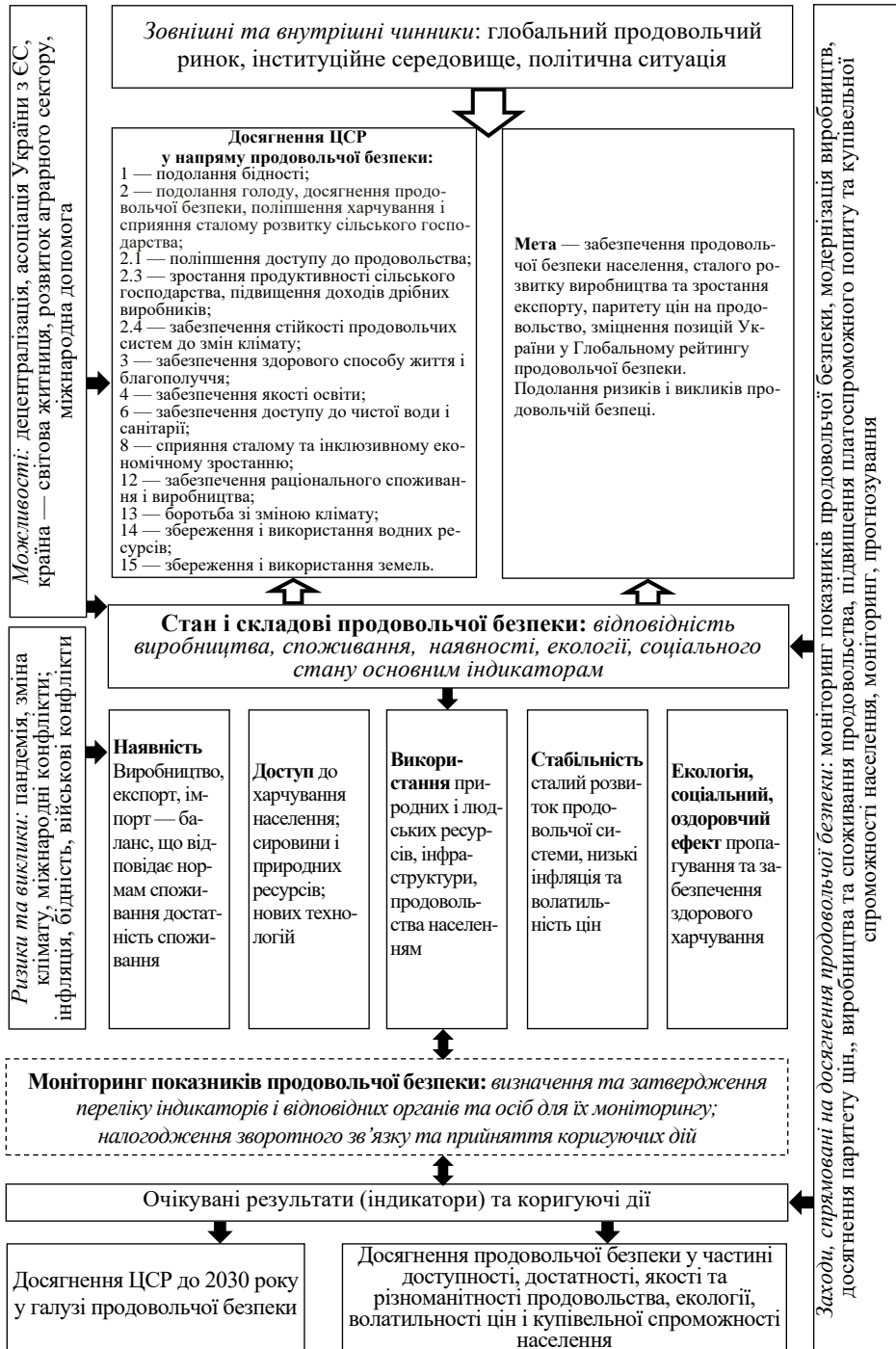


Рис. 2. Концептуальна модель забезпечення продовольчої безпеки (джерело: сформовано автором)

Ситуація з продовольчою незабезпеченістю у світі також оцінюється волатильністю цін на продовольство. Важливий показник продовольчого забезпечення — вартість економічної доступності здорового раціону харчування. (ВЕДЗР) (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023).

У звіті ФАО з продовольчої безпеки за 2023 р. відмічалось, що, після подолання наслідків пандемії в економіці у 2021 р., війна в Україні, у яку залучені два найвагоміших постачальники сільськогосподарської продукції у світі, призвела до потрясінь на ринках сировини та електроенергії, стримала розвиток економік і посилила ситуацію невизначеності (The State of Food Security and Nutrition in the World Report, 2023). Погіршує ситуацію із продовольчою незабезпеченістю світовий і внутрішній ріст цін на харчові продукти і сировину для їх виготовлення.

В Україні методику визначення основних індикаторів продовольчої безпеки було затверджено Постановою КМУ від 05.12.2007 р. № 1379, яка потребує оновлення, з урахуванням підходів ФАО, нових викликів і можливостей (Деякі питання продовольчої безпеки, 2007). Показники продовольчої безпеки до 2016 р. оприлюднювалися на сайті Міністерства економіки, в подальшому — на сайті неурядової експертної організації. Окремі індикатори продовольчої безпеки, які використовує і ФАО у своїх звітах, оприлюднені на сайті Державної служби статистики в контексті звіту щодо виконання Цілей сталого розвитку (ЦСР) в Україні, на національній платформі ЦСР. Зокрема, 2.1 (щодо забезпечення доступності збалансованого харчування), 2.2—2.4 (підвищення продуктивності сільського господарства, створення стійких продовольчих систем, зниження волатильності цін на харчування) (Державна служба статистики України, 2024).

Всесвітній індикатор — Індекс глобальної продовольчої безпеки (Global Food Security Index, GFSI), який аналізує стан продовольчої безпеки і охоплює групи інтегральних показників, шляхом міжнародних порівнянь: фізичної та економічної доступності, наявності, якості та безпеки, а також стану природних ресурсів та стійкості в регіоні. Індекс інтегрує динамічну кількісно-якісну модель, засновану на показниках продовольчої безпеки у країнах світу. За індексом глобальної продовольчої безпеки Україна у 2019—2022 рр. займала відповідно 52, 54, 58 і 71 місце серед 109—113 країн (залежно від року дослідження). При цьому охоплюється коло індикаторів, що значно перевищує вітчизняну методику (Global Food Security Index (GFSI), 2022).

Для України одне з найслабших місць — відсутність зобов'язань щодо продовольчої безпеки та доступу до харчування. Водночас високо оцінено постачання харчування, задовільним є показник наявності державних програм.

Позиції України у Глобальному індексі продовольчої безпеки можуть бути суттєво підвищені за рахунок «непродовольчих» чинників — політичної стабільності, покращення макроекономічної ситуації, зростання доходів населення (Сичевський, 2019). Дієві чинники — підвищення ефективності державного регулювання, системи моніторингу показників.

В умовах війни, у квітні 2022 р. розпорядженням Кабінету Міністрів України було затверджено План заходів для забезпечення продовольчої безпеки в умовах воєнного стану (Про затвердження плану заходів забезпечення продовольчої безпеки в умовах воєнного стану, 2022) (рис. 3).



Рис. 3. План заходів забезпечення продовольчої безпеки в умовах воєнного стану
(Джерело: сформовано автором за (Про затвердження плану заходів забезпечення продовольчої безпеки в умовах воєнного стану, 2022))

Моніторинг стану продовольчої безпеки на підставі аналізу балансів попиту і пропозиції сільськогосподарської продукції сприятиме оперативному виявленню рівня забезпеченості основними видами продовольства.

Заходи забезпечення продовольчої безпеки доцільно доповнити напрямом захисту вразливих верств населення, що передбачає формування адресної бази даних для надання продовольчої та фінансової допомоги, знижок на харчові продукти (за прикладом ініціативи АТ «Київхліб» – пільгові ціни на соціальну продукцію за «карткою киянина») і постачання продукції додому.

Напрямок забезпечення територіальних громад продовольчими товарами акцентує увагу на проблемах постачання продовольства до зони бойових дій, формування стратегічного резерву продукції та створення умов для самозабезпечення харчовими продуктами. Регулювання зовнішньоекономічної діяльності спрямоване на забезпечення підприємств необхідними імпортними складовими і поповнення бюджету країни за рахунок надходжень від експорту продовольства.

Але необхідно спрямувати зусилля на збільшення доданої вартості експорту, що забезпечить надходження до місцевих бюджетів і збільшить кількість робочих місць. Потрібно вдосконалити технології переробки та зберігання сировини.

В Україні на сьогодні реалізовано фінансову підтримку домогосподарств від численних фондів, які за різноманітними програмами пропонують допомогу. Однак присутній значний прощарок населення, який не охоплений зазначеною інформацією. Виходячи з цього, доцільно виділити напрям інформаційного забезпечення, який включатиме діджиталізацію та розповсюдження інформації для населення в регіонах з питань продовольчої та фінансової підтримки.

Основні засади продовольчої безпеки та шляхи її досягнення й моніторингу мають містити таку послідовність дій:

- 1) обґрунтування та затвердження на законодавчому рівні основних понять «продовольча безпека» і «продовольча незабезпеченість». Визначення основних принципів продовольчої безпеки, цілей і напрямів її досягнення у сучасних умовах;
- 2) аналіз світових підходів до оцінки та моніторингу продовольчої безпеки та впровадження їх на національному рівні;
- 3) оцінка ризиків, викликів і загроз продовольчій безпеці, прогнозування розвитку економіки та продовольчої системи;
- 4) узгодження основних індикаторів продовольчої безпеки з урахуванням світових тенденцій;
- 5) удосконалення законодавства та системи моніторингу продовольчої безпеки з урахуванням світових тенденцій;
- 6) аналіз динаміки та стану виробництва, споживання, експорту та імпорту харчової продукції з позиції їх відповідності продовольчій безпеці;
- 7) визначення та оцінка показників стану продовольчої безпеки, місця України у світі за обраною системою показників;
- 8) формування плану заходів, спрямованих на досягнення продовольчої безпеки, на рівнях держави, регіону, галузі, підприємств, людини, у коротко-, середньо- і довгостроковому періодах;
- 9) реалізація заходів, спрямованих на досягнення продовольчої безпеки, за центрами впливу;

10) моніторинг результатів і прийняття коригуючих дій.

Аналіз підходів до оцінки продовольчої безпеки в Україні і світі дає змогу визначити групу індикаторів, що враховують основи продовольчої безпеки, які закладені ФАО — за напрямками наявності, доступності, використання і стабільності. Мають бути враховані індикатори рівня і якості харчування; економічної і фізичної доступності продовольства (включаючи рівень та волатильність цін, логістику постачання, стан доріг, ринкової стабільності і продовольчої незалежності, а також екологічна складова.

Висновки

Узагальнення напрацювань сучасних учених, світового досвіду та чинного законодавства дало змогу сформулювати основні принципи та аспекти продовольчої безпеки, що містять економічну, соціальну, політичну та екологічну складові, ознаки самозабезпеченості, стабільності, доступності, збалансованості і якості продовольства, а також достатність доступу до продовольчих ресурсів усіх верств населення за умов забезпечення платоспроможного попиту населення.

Потребує вдосконалення законодавство у сфері продовольчої безпеки, зокрема Закону України «Про національну безпеку» у частині обґрунтування поняття продовольчої безпеки, яке було вилучено із попередньої редакції. На часі є осучаснення методики оцінки індикаторів продовольчої безпеки з урахуванням напрацювань ФАО, механізму оприлюднення та моніторингу відповідних показників; вдосконалення законодавства у сфері продовольчої безпеки в Україні. Основні засади продовольчої безпеки, шляхи її досягнення та моніторингу мають містити алгоритм послідовності дій, що включає обґрунтування та затвердження на законодавчому рівні основних понять, аналіз світових підходів до оцінки і моніторингу продовольчої безпеки і впровадження їх на національному рівні, оцінку можливостей, ризиків і загроз, аналіз динаміки основних складових ринку, формування плану заходів для забезпечення продовольчої безпеки, моніторинг результатів і прийняття коригуючих дій. Запропонована концептуальна модель забезпечення продовольчої безпеки надає можливість виявити та оцінити її стан і складові, зовнішні і внутрішні чинники впливу, виклики і можливості, а також слугуватиме дієвим інструментом для формування аграрної політики в галузі продовольчої безпеки. Удосконалені підходи до оцінки стану продовольчої безпеки мають базуватися на індикаторах ФАО і національних особливостях з урахуванням сучасних викликів.

Література

Алексеева, Я. (2015). Наукові засади визначення продовольчої безпеки. *Ефективність державного управління. Збірник наукових праць*, 42, 100—107.

Бабич, М. М. (2018). Індикатори продовольчої безпеки в Україні: тенденції розвитку. *Економіка АПК*, 5, 41—50.

Внутрішньо переміщені особи. (2023). Взято з <https://www.msp.gov.ua/timeline/Vnutrishno-peremishcheni-osobi.html>.

Гобела, В., Мельник, С., & Курляк, М. (2022). Продовольча безпека України на фоні війни: оцінка стану та прогнозування тенденцій. *Цифрова економіка та економічна безпека*, 2(02), 92—98. doi: 10.32782/dees.2-16.

Гуманітарної допомоги потребує 40% населення України — ООН (2024). Взято з <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3863796-gumanitarnoi-dopomogi-potrebuie-40-naselenna-ukraini-onn.html>.

Державна служба статистики України. (2024). Взято з www.ukrstat.gov.ua.

Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо створення умов для забезпечення продовольчої безпеки в умовах воєнного стану». (2022). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-20#Text>.

Закон України «Про державну підтримку сільського господарства України». (2024). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/964-15#Text>.

Закон України «Про національну безпеку України». (2018). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#n355>.

Закон України «Про основи національної безпеки України». (2023). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/964-15#Text>.

Залізнюк, В. П. (2018). Цільові орієнтири та методологічні принципи реалізації державної політики в забезпеченні продовольчої безпеки. *Вісник національного університету цивільного захисту України. Серія «Державне управління»*, 2(9), 24—30. doi:10.5281/zenodo.1491404.

Кваша, С. М. (2000). *Зовнішньоекономічна діяльність АПК України: стан, стратегія і тактика розвитку*. Київ: ЗАТ «НІЧЛАВА».

Коваленко, О. В., Куць, О. І., & Бокій, О. В. (2020). *Концептуальні засади формування економічної політики та механізмів розвитку харчової промисловості*. Київ: Інститут продовольчих ресурсів НААН.

Колісник, Г. М. (2015). Продовольча безпека України та особливості її розвитку. *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України*, 5, 72—76. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sepsru_2015_5_19.

Конституція України (2016). Взято з: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#Text>.

Малигіна, В. Д. (2011). *Методологія забезпечення продовольчої безпеки країни: монографія*. Донецьк: видавництво Ноулідж.

Манзій, І. Б. (2008). Продовольча безпека: структура, принципи, реальність загроз. *Вісник Сумського національного аграрного університету*, 8/1(31), 27—31.

Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання продовольчої безпеки». (2007). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1379-2007-%D0%BF#Text>.

Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про затвердження плану заходів забезпечення продовольчої безпеки в умовах воєнного стану». (2022). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/327-2022-%D1%80#Text>.

Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Стратегії продовольчої безпеки України на період до 2027 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації» (2024). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/684-2024-%D1%80#Text>.

Сичевський, М. П. (2019). Глобальна продовольча безпека та місце України в її досягненні. *Економіка АПК*, 1, 6—17.

Allee, A., Lynd, L. R., & Vaze, V. (2021). Cross-national analysis of food security drivers: comparing results based on the Food Insecurity Experience Scale and Global Food Security Index. *Food Security*, 13(5), 1245—1261. doi:10.1007/s12571-021-01156-w.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). Available at <http://www.fao.org/home/en/>.

Global Food Security Index 2022 (2022). Available at https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/resources/Economist_Impact_GFSI_2022_Website_Navigation_Guide_Sep_2022.pdf.

Global strategic framework for Food Security and Nutrition (GSF). (2017). 35 p. Available at <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/7b5ef32b-5224-4d1b-9e85-3f567102a3cc/content>.

Griver, S. and Fischhendler, I. (2021). The Social Construction of Food Security: The Israeli Case. 13(5), 1303—1321. doi:10.1007/s12571-021-01169-5.

Moore, R., Dada, S., Emmambux, M. N., Samuels, A. (2021). Food and nutrition security in persons with disabilities. A scoping review. *Global food security-agriculture policy economics and environment*, 31. Article Number 100581. doi:10.1016/j.gfs.2021.100581.

International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights. (1966). Available at <https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/international-covenant-economic-social-and-cultural-rights>.

International Fund for Agricultural Development. (2023). Available at <https://www.ifad.org>.

Nicholson, C. F., Stephens, E. C., Kopainsky, B., Jones, A. D., Parsons, D., & Garrett, J. (2021). Food security outcomes in agricultural systems models: Current status and recommended improvements. *Agricultural Systems*, 188, Article Number 103028. doi:10.1016/j.agsy.2020.103028.

The State of Food Security and Nutrition in the World Report 2023: Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural-urban continuum. (2023). Available at https://reliefweb.int/report/world/state-food-security-and-nutrition-world-report-2023-urbanization-agrifood-systems-transformation-and-healthy-diets-across-rural-urban-continuum?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwv7O0BhDwARIsAC0sjW0VJdbMo1my8eXbrpuGKwsLNM7NDMpLXdRcuIncIDeRM0BNfWQunnQaArFvEALw_wcB.

Zhao, S. C., Li, T. Y., & Wang, G. G. (2023). Agricultural Food System Transformation on China's Food Security. *Foods*, 12(15), Article Number 2906. doi:10.3390/foods12152906.

Worldbank (2024). Food security trends in 2024 and beyond. Available at <https://blogs.worldbank.org/en/agfood/food-security-trends-2024-and-beyond>.

World Food Programme. United Nations. (2023). Available at <https://www.wfp.org/who-we-are>.

INTEGRATION OF THE CYNEFIN FRAMEWORK AND CARVER METHODOLOGIES IN RISK-BASED DECISION MAKING

O. Sheremet, O. Shulgan

National University of Food Technologies

Key words:

Decision
Decision-making
Risk
Analysis
Security
Danger
Cynefin Framework
CARVER

Article history:

Received 19.09.2024
Received in revised form
02.10.2024
Accepted 18.10.2024

Corresponding author:

O. Sheremet
E-mail:
olsher@yahoo.com

Citation: Шеремет О.О., Шулган О. Л. (2024). Інтеграція методик Cynefin Framework та CARVER для прийняття рішень в умовах ризику. *Наукові праці НУХТ*, 30(5), 104—121.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-9

ABSTRACT

The integration of the Cynefin Framework and CARVER methodologies for decision-making under risk was explored. The Cynefin Framework was developed for classifying and understanding different types of situations, and CARVER is a methodology for evaluating threats and opportunities used for detailed risk analysis. Integration of the Cynefin Framework and CARVER will enhance the accuracy and effectiveness of the decision-making process under risk by providing a deeper understanding of the situation's context and a detailed analysis of threats and opportunities.

As a result of the study, it was established that the Cynefin Framework effectively identifies the level of complexity of a situation, determines the context of the problem, and applies appropriate management strategies, while CARVER provides a structured approach to risk assessment and helps prioritize actions and resources, thereby enhancing the organization's responsiveness and flexibility in risky conditions. CARVER allows for a deep analysis of critical aspects of each situation, such as criticality, resource availability, recovery capability, vulnerability, impact, and recognizability. This contributes to more informed decision-making.

The integration of these methodologies allows for a comprehensive view of the situation, ensuring a more accurate and effective risk analysis. The study systematized situations for each domain of the Cynefin Framework and assessed their characteristics using the CARVER methodology. It also categorized risk assessments in the context of the components of CARVER and the domains of the Cynefin Framework. This demonstrates the practical application of the integration of the two methodologies and their effectiveness in various types of situations. The conclusions confirm that the combination of the Cynefin Framework and CARVER creates a powerful tool for decision-making under risk. This integration enables managers to better understand the context and complexity of situations, more effectively evaluate threats and opportunities, ultimately improving the quality of management decisions.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-9

ІНТЕГРАЦІЯ МЕТОДИК SYNEFIN FRAMEWORK ТА CARVER ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ РИЗИКУ

О. О. Шеремет, О. Л. Шульган

Національний університет харчових технологій

У статті досліджується інтеграція методик Synefin Framework і CARVER для прийняття рішень в умовах ризику. Synefin Framework розроблений для класифікації та розуміння різних типів ситуацій, CARVER дає змогу оцінити загрози і можливості, що використовуються для детального аналізу ризиків. Інтеграція Synefin Framework і CARVER дасть змогу підвищити точність і ефективність процесу прийняття рішень в умовах ризику за рахунок глибшого розуміння контексту ситуації та детального аналізу загроз і можливостей.

У результаті дослідження встановлено, що Synefin Framework дає змогу ефективно ідентифікувати рівень складності ситуації, визначати контекст проблеми та застосовувати відповідні стратегії управління, тоді як CARVER забезпечує структурований підхід до оцінки ризиків і допомагає пріоритизувати дії та ресурси, що підвищує оперативність і гнучкість організації в умовах ризику. CARVER дає змогу здійснити глибокий аналіз критичних аспектів кожної ситуації, таких як критичність, доступність ресурсів, здатність до відновлення, уразливість, ефект і розпізнаваність. Це сприяє більш обґрунтованому прийняттю рішень. Інтеграція цих методик формує комплексне бачення ситуації, забезпечуючи більш точний і ефективний аналіз ризиків.

Здійснено систематизацію ситуацій для кожного домену Synefin Framework та оцінку їхніх характеристик за методикою CARVER. Також проведена категоризація оцінок ризиків у контексті складових CARVER та доменів Synefin Framework. Це демонструє практичне застосування інтеграції двох методик та їхню ефективність у різних типах ситуацій. Висновки підтверджують, що поєднання Synefin Framework та CARVER створює потужний інструмент для прийняття рішень в умовах ризику. Ця інтеграція дає змогу керівникам краще розуміти контекст і складність ситуацій, ефективніше оцінювати загрози і можливості, що в кінцевому підсумку підвищує якість управлінських рішень.

Ключові слова: рішення, прийняття рішень, ризик, аналіз, безпека, небезпека, Synefin Framework, CARVER.

Постановка проблеми. Сучасний світ бізнесу й управління характеризується постійними змінами та високим рівнем невизначеності, що вимагає розроблення та застосування ефективних методик прийняття рішень в умовах ризику. Підвищити точність та ефективність процесу прийняття рішень в умовах ризику можливо шляхом детального аналізу загроз і можливостей, критичних аспектів ситуації, в якій перебуває суб'єкт господарювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Уся діяльність менеджерів постійно пов'язана з прийняттям рішень. Чим вищий рівень керівника, тим більше рішень йому потрібно приймати і тим більш важливими є прийняті рішення для діяльності організації. Майк Вудкок та Дейв Френсіс (Woodcock, & Francis, 1997)

запропонували просту і зручну класифікацію типів прийнятих рішень менеджером. Відповідно до запропонованої ними концепції розглядаються чотири типи прийняття рішень:

1. *Рутинний*. Керівництво поводить себе відповідно до програми, яка є в наявності в організації. Керівник розпізнає ситуацію і вирішує її заздалегідь прийнятним способом. Функція менеджера полягає в тому, щоб відчувати та ідентифікувати ситуацію, а потім взяти на себе відповідальність за визначені управлінські дії. Труднощі можуть виникнути, якщо керівник не відчуває і неправильно трактує ситуацію або проявляє нерішучість. Цей рівень прийняття рішень не потребує творчого підходу.

2. *Селективний*. На цьому рівні присутні ініціатива і свобода дій, однак у визначених межах. Керівник оцінює переваги цілого кола рішень і намагається обрати з певної кількості відпрацьованих альтернативних управлінських дій ті, які краще за все підходять для вирішення цієї проблеми. Результативність рішення залежить від здатності керівника обрати напрямок дій з найбільш ефективним, економічним і ймовірним результатом.

3. *Адаптивний*. На цьому рівні зустрічаються додаткові труднощі, так як керівник повинен виробити творче рішення, яке у визначеному змісті може бути абсолютно новим. Зазвичай є набір перевірених можливостей і деякі нові ідеї. Успіх керівника залежить від його особистої ініціативи і здатності зробити прорив у невідоме. Подібні рішення дають відповіді на проблеми, які могли існувати і раніше, але в іншій конкретній формі. Керівник шукає нове рішення існуючої проблеми.

4. *Інноваційний*. Ці проблеми найбільш складні і потребують найбільшої уваги серед всіх, з якими стикається менеджер. Щоб отримати задовільний результат потрібно шукати кардинально новий підхід. Такою проблемою може бути та, яку раніше погано зрозуміли, а для її вирішення потрібні абсолютно нові уявлення і методи.

Ці чотири рівня прийняття рішення можна побачити в концепції Synefin Framework. Synefin Framework був вперше опублікований у 2000 р. (Snowden, 2000). Пізніша стаття в Harvard Business Review від 2007 р. надала перше узагальнення як модель стратегії, яка розглядається як система, що може допомогти практикам належним чином відчути контекст прийняття рішення (Snowden, & Boone, 2007). Методика Synefin Framework широко використовується в різних наукових дисциплінах для аналізу складних процесів прийняття рішень.

У статті (Kempermann, 2017) методика Synefin Framework застосовується для полегшення розуміння і прийняття рішень у складних біомедичних дослідженнях. Дослідники використовують її для кращого розуміння взаємозалежностей і впливів між різними зацікавленими сторонами в цій галузі.

У сфері охорони здоров'я концепція Synefin Framework допомагає фахівцям-практикам зрозуміти складні ситуації та інформувати про них. Ця концепція спрямована на вирішення багатогранних проблем громадського здоров'я, забезпечуючи структурований підхід до прийняття рішень (Beurden, Kia, Zask, Dietrich, & Rose, 2013).

Дослідження (McLeod, & Childs, 2013) організаційно-орієнтованої архітектури для керування електронними документами за допомогою Synefin Framework дало

змогу класифікувати, інтерпретувати та осмислювати дані проєкту, тобто представити їх у кращій для сприйняття формі.

Synefin Framework в (Fiergo, & Putino, 2018) розглядається для комплексного бачення проблем у різних сферах складності під час прийняття найбільш ефективних управлінських підходів та визначення навичок лідера.

У праці (Мін, 2022) на основі моделі Synefin запропоновано метод вибору методології для управління міжнародними проєктами. В статті (Bridges, 2024) робиться акцент на розумінні природи проблем й обґрунтуванні підходів до їх вирішення, які узгоджуються з цілями стратегічного планування та операційної досконалості. В праці (Eberth, 2021) Synefin Framework використовується для прийняття рішень в управлінні бібліотекою під час пандемії.

Ці публікації демонструють універсальність Synefin Framework у забезпеченні структурованого підходу до розуміння й управління складністю в різних наукових і практичних сферах.

Система оцінки та ранжування загроз і можливостей CARVER (Criticality, Accessibility, Recuperability, Vulnerability, Effect, Recognizability) була розроблена під час Другої світової війни. На той час вона використовувалася аналітиками для визначення найбільш ефективного місця, де пілоти бомбардувальників можуть скинути свої боеприпаси на ворожі об'єкти. Але згодом цей метод почали використовувати в бізнесі, зокрема для виявлення слабких місць конкурентів, внутрішнього аудиту, аналізу ризиків тощо. Експерти з безпеки вважають його основним інструментом оцінки захисту критично важливих активів. Наразі Міністерство внутрішньої безпеки США рекомендувало його як найкращу методiku оцінки небезпек (Bencie, & Araboghli, 2018).

У сучасних дослідженнях CARVER широко використовується в бізнесі для управління ризиками і безпекою компаній. Оскільки методика CARVER спирається як на якісні, так і на кількісні дані, її можна застосовувати практично в будь-якому сценарії в організованій і логічній спосіб. Методологія CARVER особливо вирізняється своєю адаптивністю до різних сфер діяльності. Незалежно від того, чи йдеться про захист критичної інфраструктури, активу, оцінку безпеки, проведення внутрішнього аудиту, структурований аналіз CARVER пропонує бачення і оцінювання потенційних вразливостей.

У праці (Репіло, Приміренко, & Дем'янюк, 2023) CARVER розглядається для визначення пріоритетності об'єктів противника для прийняття їх як можливих цілей з метою вогневої підтримки.

У дослідженні (Wysokinska-Senkus, Górna, Kazmierczak, Mielcarek, & Senkus, 2022) методика CARVER використовувалась для покращання підходів до управління бізнес-процесами на виробничому підприємстві з метою покращання безпеки харчових продуктів та захисту харчових продуктів.

Інші дослідники (Bilgiç, Tulger Kara, & Gündüz, 2017) розглядали питання оцінки ризиків діяльності інфраструктури питного водопостачання та водовідведення за допомогою методу CARVER, що дало змогу визначити елементи системи, які піддаються підвищеному ризику для різних сценаріїв розвитку подій.

На авторську думку, Synefin Framework і CARVER разом можуть суттєво допомогти в процесі прийняття рішень в умовах ризику. Synefin Framework надає керівникам інструменти для класифікації та розуміння різних типів ситуацій, від

простих до хаотичних, дозволяючи застосовувати відповідні стратегії управління. З іншого боку, CARVER забезпечує детальний аналіз ризиків і допомагає виявити пріоритети для дій.

Попри наявність публікацій щодо обґрунтування рішень в умовах ризику за допомогою методик Synefin Framework та CARVER, існує потреба у розширенні можливостей такого аналізу, поєднавши ці обидва інструменти в єдину систему управління небезпеками. Це стосується розроблення методичних засад обґрунтування напрямів інтеграції методик Synefin Framework та CARVER для прийняття рішень в умовах ризику.

Метою дослідження є обґрунтування можливості інтеграції методик Synefin Framework та CARVER для прийняття рішень в умовах ризику та розроблення методичного інструментарію сумісного використання цих інструментів аналізу.

Відповідно до поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

- визначити особливості і можливості використання методики Synefin Framework для ідентифікації рівня складності ситуації під час прийняття управлінських рішень;

- визначити особливості і можливості використання методики CARVER для аналізу ризиків кожної ситуації;

- обґрунтувати можливості інтеграції методик Synefin Framework та CARVER для прийняття рішень в умовах ризику;

- запропонувати методичний інструментарій інтеграції методик Synefin Framework та CARVER для прийняття рішень в умовах ризику.

Зазначена мета спонукає до формування гіпотези, що полягає в можливості інтеграції методик Synefin Framework та CARVER, яка покращить процес прийняття рішень в умовах ризику, підвищить точність і швидкість визначення пріоритетів та ефективність управління ресурсами в організаціях.

Матеріали і методи. В дослідженні розглядається методика Synefin Framework для класифікації ситуації за їх складністю, що дає змогу визначити адекватні ситуації стратегії управління. Також аналізується методика CARVER, яка забезпечує детальний аналіз небезпечних аспектів проблеми, дозволяючи оцінити її критичність, доступність ресурсів, здатність до відновлення, уразливість, ефект і розпізнаваність. Використання CARVER дає змогу приймати більш обґрунтовані й стратегічні рішення, спрямовані на мінімізацію ризиків та оптимізацію ресурсів. Метод синтезу використовувався для обґрунтування можливості інтеграції сумісного використання обох запропонованих методик для прийняття рішень в умовах ризику, враховуючи складність ситуації та рівень безпеки в єдиній системі аналізу.

Викладення основних результатів дослідження.

1. Методика Synefin Framework для прийняття рішень в умовах ризику.

Для вирішення складних проблем потрібен спеціальний аналіз, який дасть змогу приймати рішення у надзвичайних обставинах, коли існуючі методи й управлінські практики не спрацьовують. Такою методикою може бути «Synefin Framework» — модель аналізу рівня складності проблеми. Цю методику розробив і запропонував Дейв Сноуден (Snowden, 2000), який очолював Інститут управління знаннями на базі ІВМ, а нині є співзасновником центру Cognitive Edge і консультантом з питань менеджменту знань та засновником науки про складність.

Відповідно до Cynefin Framework виділяють п'ять типів середовища (домени): просте, складне, заплутане, хаотичне та невизначене (Snowden, 2000). Кожному типу притаманні свої особливості відповідно до рівня складності проблеми і того, наскільки зрозумілими є причинно-наслідкові зв'язки. Таким чином, загальна логіка прийняття рішення підпорядковується тим станам, в яких знаходиться система. Тільки розуміючи тип середовища, можна підібрати найбільш адекватний підхід для роботи у ньому. На рисунку показано зміст типів середовища відповідно до Cynefin Framework.

<p>Заплутане середовище Ми не розуміємо поведінку середовища і це потрібно дослідити. Ситуація зрозуміла тільки в ретроспективі. Причинно-наслідкові зв'язки заплутані, елементи і взаємозв'язки між ними незрозумілі. Однакові дії призводять до різних результатів. ПРИЧИНИ І НАСЛІДКИ є, але який між ними зв'язок??? Результат складно зрозуміти.</p>	<p>Складне середовище Ми не до кінця розуміємо поведінку середовища, але є експерти, які можуть його прояснити. Причинно-наслідкові зв'язки ускладнені і вимагають експертного аналізу, тому що вони приховані. ПРИЧИНИ - - - - - НАСЛІДКИ Результат можна пізнати.</p>
<p>НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ</p>	
<p>Хаотичне середовище Ми не розуміємо поведінку системи, її принципово не можна спрогнозувати. Елементи і взаємозв'язки між ними незрозумілі, причинно-наслідкові зв'язки не виявляються, динамізм ситуації великий. ПРИЧИНИ І НАСЛІДКИ невідомі Результат невідомий.</p>	<p>Просте (очевидне) середовище Ми знаємо і розуміємо поведінку середовища, вона повністю передбачувана. Явні і очевидні причинно-наслідкові зв'язки ПРИЧИНИ=НАСЛІДКИ Результат відомий.</p>

Рис. Зміст доменів Cynefin Framework (побудовано за (Snowden, 2000)).

У *простих, очевидних (clear, simple)* системах причинно-наслідкові зв'язки очевидні, кроки до успіху чітко визначені, всі змінні добре відомі та зрозумілі. Отримати найкращий результат реально можливо, якщо використовувати «найкращі практики», вироблені роками. Тут часто існують чіткі кроки, які визначають кожен наступний етап процесу. У вас вже є певний досвід вирішення подібних завдань і проблем певним чином і потрібно підтримувати ці усталені практики, щоб отримати свідомо хороший результат. Наприклад, приготувати якусь страву, яку ви вже до цього готували за відомим рецептом з відомими інгредієнтами. Причини і наслідки зрозумілі, якщо все виконувати правильно, то можна отримати найкращий результат. Алгоритм прийняття рішення в *упорядкованих простих системах: визначаємо — класифікуємо — реагуємо* (Snowden, 2000; Zosym, 2022).

У *складних (complicated)* системах причинно-наслідкові зв'язки непомітні і вимагають попереднього аналізу, більшість обставин відомі і зрозумілі, потреба усвідомлена, але не зрозуміло, яким чином можна досягти результату. Таке рішення

приймається вперше і немає досвіду вирішення таких проблем. Використання хороших практик не призводить до одного результату, існує декілька варіантів вирішення проблеми, серед яких потрібно зробити вибір. У результаті ми можемо отримати хороший результат, але не обов'язково найкращий. У складних системах вдаються до допомоги експертів. Запрошений експерт-консультант вже працював із подібними проблемами та завданнями і може надати рекомендації, як потрібно діяти у цій ситуації. Приклад роботи складних систем: приготувати якусь страву без рецепту, коли нам відомі всі інгредієнти продукту, але невідомо, яким чином це готується. Для цього потрібно запросити якогось кухара, який вже колись це готував цю страву і може нам допомогти. Може існувати декілька варіантів приготування, тож потрібно якийсь обрати і не обов'язково він буде найкращий. Наймання на роботу працівників також є складною системою, тому що ви ставите на співбесіді необхідні запитання, які, на ваш погляд, важливі для роботи, але результат все одно не може бути гарантований. Можемо залучити експертів, або дати якусь професійне завдання, за результатами якого вже можна визначити готовність працівника до обіймання даної посади. Але це все одно не гарантує результат. Алгоритм прийняття рішення в *упорядкованих складних системах*: *визначаємо — аналізуємо — реагуємо* (Snowden, 2000; Zosym, 2022).

У *заплутаних системах (complex)* причинно-наслідкові зв'язки стають зрозумілими лише в майбутньому, але ситуація не піддається прогнозуванню. Ситуація залежить від багатьох невизначених факторів, але не всі поки що відомі. Правильних рішень може бути декілька, але вибір серед них неочевидний. В основному це щось нове, що має з'явитись. Тому поки що відсутнє розуміння того, як діяти, іноді відсутнє розуміння, у чому саме полягає проблема і які питання потрібно поставити, щоб зрозуміти це. Невизначеності в таких ситуаціях ще більше. Але неможливо просто очікувати, що розуміння прийде, потрібно щось інтуїтивно починати робити. Спочатку можна залучити внутрішнє відчуття і лише згодом вдасться зрозуміти що ж відбувається. Контролювати ситуацію неможливо, але можна терпляче шукати закономірності та заохочувати інших до вирішення проблеми. В таких ситуаціях невдача може сприйматися як частина процесу навчання. Простий набір правил може допомогти у виробленні найкращих рішень, ніж відсутність вказівок. Прикладом заплутаних систем є приготування обіду для якоїсь людини, про яку вам нічого невідомо, чи вона вегетаріанка, чи їсть вона рибу, чи любить смажену або варену їжу. Ми не можемо отримати інформацію про цю людину, не знаємо кому можна поставити запитання про її уподобання, але мусимо її нагодувати. Тож починаємо діяти, сподіваючись, що принаймні одна страва задовольнить цю людину. Контролювання епідемії також відносять до цих систем, тому що в цьому разі багато невідомої інформації і невідомо, які ліки можуть спрацювати. Формула ухвалення рішення в *заплутаних неупорядкованих складних системах*: *вимірюємо — визначаємо — реагуємо* (Snowden, 2000; Zosym, 2022).

У *хаотичних системах (chaotic)* відсутні зв'язки між причиною та наслідком, ніхто не розуміє чого можна очікувати, що може бути результатом, тобто існує певний хаос в діяльності. Досвіду розв'язання проблем у цій сфері немає не тільки у вас, але й ні в кого іншого. Рішення, що приймається, повинно враховувати хаотичність і непередбачуваність поведінки системи. Ймовірно, прийняте рішення не

буде оптимальним, але потрібно все ж таки стабілізувати ситуацію. Часто це криза або надзвичайна ситуація, в якій потрібно терміново діяти, щоб обмежити можливість негативних наслідків і внести в ситуацію якість розуміння. Прикладом хаотичної системи є завдання приготувати їжу в будинку під час пожежі і землетрусу. Класичним прикладом роботи в хаотичній системі є виробництво інноваційного продукту, коли неможливо знати наперед, яким буде попит і як люди взагалі віднесуться до новинки. Кризи, революційні події, військові дії — це все хаотичні ситуації, коли потрібно терміново діяти, і ця діяльність більше стосується адаптації й реагування на виклики. Бездіяльність у цих ситуаціях набагато гірша, ніж можливість помилитись у пошуку найкращого рішення. У хаотичному середовищі ми можемо лише рухатися і на основі нової інформації коригувати рух. Можуть з'явитись нові дані, нові конкуренти, нові технології. Ілюзія безпеки в хаотичному середовищі може бути фатальною. Алгоритм ухвалення рішення у хаотичних системах: *діємо — визначаємо — реагуємо* (Snowden, 2000; Zosym, 2022).

П'ята система — невизначеність. У ситуаціях, які відносяться до цієї групи, неможливо визначити, чи існують причинно-наслідкові зв'язки, які вони, в якому напрямку слід рухатися для ухвалення правильного рішення. Невизначеність знаходиться в самому центрі моделі Cynefin Framework. Щоб зміститися з центру та перевести ситуацію в будь-яку іншу категорію, потрібно насамперед встановити, яку інформацію ми вже маємо, а якої інформації нам не вистачає.

Алгоритм роботи відповідно до цієї моделі:

- визначення типу середовища, в якому ми знаходимося;
- визначення адекватного підходу до роботи зі складними завданнями і проблемами відповідно до ідентифікованого типу середовища;
- визначення цінностей, які відповідають цьому середовищу.

Якщо використовувати «Cynefin Framework», то можна запобігти багатьом ризикам, тому що ця методика дає змогу підібрати захід управління, який буде відповідати типу складності ситуації. Кожен домен вимагає різного підходу до управління та прийняття рішень.

2. Методика CARVER для аналізу ризику. Методика CARVER використовується для оцінки та пріоритизації ризиків, а також для визначення найбільш вразливих точок у системі. Ця методика спочатку була розроблена військовими для аналізу цілей, але згодом її почали застосовувати в бізнесі, управлінні ризиками та інших галузях. CARVER розшифровується як:

1. **Criticality** (критичність): визначає, наскільки важливий певний елемент для функціонування системи або досягнення цілей. Вимірює вплив на систему в разі втрати або пошкодження елемента.

2. **Accessibility** (доступність): оцінює, наскільки легко можна дістатися до елемента та здійснити на нього вплив. Враховує фізичну, логістичну та іншу доступність.

3. **Recuperability** (здатність до відновлення): визначає, наскільки швидко система може відновити свої функції після втрати або пошкодження елемента. Враховує час і ресурси, необхідні для відновлення.

4. **Vulnerability** (уразливість): оцінює, наскільки легко елемент може бути пошкоджений або виведений з ладу. Враховує ступінь захисту та вразливість до різних видів загроз.

5. Effect (ефект): визначає наслідки пошкодження або втрати елемента для всієї системи. Враховує вплив на операції, репутацію, фінанси та інші аспекти.

6. Recognizability (розпізнаваність): оцінює, наскільки легко ідентифікувати елемент як важливий об'єкт. Враховує наявність інформації та видимість елемента.

Алгоритм використання методики CARVER:

1. Ідентифікація елементів — визначення ключових елементів або об'єктів, які потребують оцінки.

2. Оцінка за кожним критерієм — для кожного елемента здійснюється оцінка за шістьма критеріями CARVER, використовуючи шкалу від 1 до 10 (або іншу узгоджену шкалу).

3. Складання загальної оцінки — суми балів за всіма критеріями обчислюються для кожного елемента. Високий сумарний бал вказує на високий рівень ризику або важливості елемента.

4. Пріоритизація дій — на основі отриманих оцінок визначаються пріоритетні дії для управління ризиками. Елементи з високими балами потребують негайної уваги та заходів.

Методика CARVER забезпечує системний підхід до оцінки загроз і вразливостей, пропонуючи як якісне, так і кількісне розуміння ризиків. Вона дає змогу досконало розуміти ризики, виходячи за рамки поверхневих оцінок і надаючи комплексне уявлення про потенційні загрози безпеці. Розуміння і впровадження методології CARVER допоможе в захисті від загроз у сучасних умовах господарювання.

3. Обґрунтування сумісного використання Synefin Framework та CARVER для прийняття рішень в умовах ризику. Інтеграція Synefin Framework та CARVER дає змогу більш детально оцінювати й управляти ризиками, враховуючи контекст кожної ситуації та специфіку кожного домену.

Визначення складових CARVER у контексті розуміння домену ситуації за Synefin Framework є важливим, тому що це сприяє покращенню розуміння ризиків, структурує проблеми, визначає найкращі управлінські дії для запобігання ідентифікованим ризикам.

Складові CARVER допомагають детально оцінити ризики та пріоритети в кожному домені Synefin Framework. Це забезпечує чітке розуміння, які аспекти ситуації потребують негайної уваги та які ресурси варто залучити для їх вирішення. Наприклад, у простому домені, де причино-наслідкові зв'язки чіткі, важливо швидко розпізнати проблему й оцінити її критичність для досягнення швидких рішень. А в складному домені, де взаємодії не завжди передбачувані, критично важливо розуміти вразливість системи до різних невідомих факторів і експериментів.

CARVER дає змогу визначити, які ресурси є необхідними та доступними для вирішення конкретної проблеми в різних доменах. Це допомагає ефективно розподіляти ресурси та уникати їх марнотратства. Наприклад, у заплутаному домені, де потрібні експертні знання, доступність до спеціалізованих ресурсів та експертів є критичною для ефективного вирішення проблеми. А в хаотичному домені, де необхідні негайні дії, доступність ресурсів для швидкого втручання має ключове значення.

Оцінка відновлюваності за допомогою CARVER допомагає передбачити, скільки часу та зусиль потрібно для відновлення нормальної роботи після вирішення проблеми. Це особливо важливо для стратегічного планування в організації. Наприклад, у заплутаному домені, де можливі експериментальні дії, важливо оцінити, як швидко система зможе відновитися після потенційних змін. А в хаотичному домені, де потрібні негайні дії, оцінка відновлюваності допомагає планувати подальші кроки після стабілізації ситуації.

Складова уразливості допомагає ідентифікувати слабкі місця в системі, які можуть бути критичними для вирішення проблеми. Це сприяє більш точному аналізу ризиків і прийняттю обґрунтованих рішень. Наприклад, у складному домені вразливі місця можуть бути пов'язані з недоліком експертних знань або спеціалізованих ресурсів. А в заплутаному домені вразливість може виникнути через непередбачувані взаємодії між різними елементами системи.

CARVER дає змогу оцінити потенційний вплив різних рішень на організацію, що є ключовим для стратегічного управління. Це допомагає приймати більш зважені рішення, які враховують можливі наслідки. Наприклад, у простому домені вплив рішень є передбачуваним і легко вимірюваним. А в заплутаному домені вплив рішень може бути складним для передбачення, тому оцінка потенційних наслідків є критично важливою.

Складова розпізнаваності допомагає ідентифікувати проблему на ранній стадії, що дає змогу швидко вжити заходів для її вирішення. Це особливо важливо для запобігання подальшому погіршенню ситуації. Наприклад, у простому домені проблеми легко розпізнати завдяки чітким причинно-наслідковим зв'язкам. А в хаотичному домені розпізнавання точок впливу для негайних дій може бути складним, але критично важливим.

Інтеграція обох методик допомагає оптимізувати розподіл ресурсів, оскільки Synefin Framework надає загальну структуру для класифікації проблем, а CARVER деталізує потреби та ризики кожної з них.

4. Інтеграція Synefin Framework та CARVER в системі прийняття рішень в умовах ризику. Поєднання методик Synefin Framework та CARVER (Criticality, Accessibility, Recuperability, Vulnerability, Effect, Recognizability) може значно підвищити ефективність прийняття рішень в умовах ризику. Synefin допомагає класифікувати контекст ситуації, тоді як CARVER використовується для аналізу та пріоритизації загроз або ризиків.

Інтеграція методик Synefin Framework та CARVER для прийняття рішень в умовах ризику може відбуватись за такими етапами:

1. Класифікація ситуації за допомогою Synefin Framework: визначення контексту ситуації, використовуючи домени Synefin (Простий, Ускладнений, Складний, Хаотичний, Безладний) для розуміння, найбільш ефективних інструментів прийняття рішень.

2. Визначення ризиків і загроз: ідентифікація можливих ризиків і загроз у ситуації прийняття рішень шляхом збору інформації, аналізу даних, опитування зацікавлених сторін тощо.

3. Застосування CARVER для оцінки ризиків: використання методики CARVER для оцінки кожного ризику чи загрози за критеріями:

- criticality (критичність): наскільки важливий цей ризик для досягнення цілей організації?

- accessibility (доступність): наскільки легко доступні ресурси або інформація для вирішення проблеми?

- recuperability (відновлюваність): як швидко організація зможе відновитися після впливу цього ризику?

- vulnerability (уразливість): наскільки уразлива організація до цього ризику?

- effect (ефект): який вплив цей ризик матиме на організацію, якщо не будуть вжиті заходи для його запобігання?

- recognizability (розпізнаваність): наскільки легко розпізнати цей ризик?

4. Систематизація та аналіз ризиків у контексті Synefin Framework: після оцінки ризиків за допомогою CARVER їх необхідно розподілити за відповідними доменами Synefin. Для кожного домену можна застосувати специфічні стратегії та підходи, рекомендовані Synefin Framework.

5. Розробка стратегії управління ризиками: за результатами аналізу CARVER та класифікації Synefin розробляються детальні стратегії управління для кожного ризику:

- простий домен: використовуються стандартні процедури та кращі практики.

- складний домен: залучаються експерти для глибокого аналізу та розробки рішень.

- заплутаний домен: проводяться експерименти та пілотні проекти, щоб виявити найкращі рішення.

- хаотичний домен: вживаються негайні заходи для встановлення контролю та стабільності.

- невизначений домен: ситуація розподіляється на частини та класифікується кожна частина окремо.

6. Моніторинг та адаптація: постійний моніторинг ефективності реалізованих стратегій та адаптація їх залежно від змін у контексті й нових даних. Використання методики CARVER для регулярної оцінки нових або змінених ризиків.

У табл. 1 показані запитання, за допомогою яких можна здійснити ідентифікацію складових CARVER визначених ризиків з їх розподілом за окремими доменами Synefin Framework.

Таблиця 1. Підходи до ідентифікації ризиків в інтегрованій системі CARVER і Synefin Framework

Складові CARVER	Домен Synefin Framework				
	простий	складний	заплутаний	хаотичний	невизначений
Критичність (Criticality)	Наскільки важливий цей ризик для досягнення цілей організації?	Який рівень експертних знань потрібен для запобігання ризику?	Наскільки критично важливо зрозуміти всі взаємодії та зв'язки для запобігання ризику?	Наскільки критично важливо негайно втрутитися для зупинення хаосу?	Наскільки критично важливо швидко класифікувати ситуацію для прийняття правильних рішень?

Продовження таблиці 1

Доступність (Accessibility)	Наскільки легко доступні ресурси або інформація для запобігання ризику?	Наскільки доступні експерти або спеціалізовані ресурси для запобігання ризику?	Наскільки доступні дані та інформація для проведення експериментів і аналізу?	Наскільки доступні ресурси для швидкого втручання?	Чи доступна інформація для класифікації ризиків?
Відновлюваність (Recoverability)	Наскільки швидко організація зможе відновити нормальний стан після впливу цього ризику?	Скільки часу потрібно на відновлення, враховуючи експертний аналіз?	Наскільки швидко можна відновити систему після тестування та впровадження нових рішень?	Наскільки швидко можна відновити порядок після впровадження негайних дій?	Наскільки швидко можна відновити нормальний стан після визначення точного домену ризику?
Уразливість (Vulnerability)	Наскільки вразлива система до даного ризику? Чи є слабкі місця?	Які аспекти системи є вразливими без експертної оцінки?	Які елементи системи є найбільш уразливими до непередбачуваних наслідків?	Які аспекти системи найбільш уразливі до хаотичних подій?	Які аспекти системи є найбільш уразливими до невизначеності?
Ефект (Effect)	Який вплив матиме цей ризик на організацію, якщо не вжити необхідних заходів?	Який вплив матиме цей ризик на організацію, якщо вжиті заходи не спрацюють?	Який потенційний вплив можуть мати експериментальні дії на організацію?	Який вплив матимуть негайні дії на стабілізацію ситуації?	Який вплив матиме правильна класифікація на вирішення проблеми?
Розпізнаваність (Recognizability)	Наскільки легко ідентифікувати цю проблему на ранній стадії?	Наскільки легко експерти можуть розпізнати проблему та її наслідки?	Наскільки легко розпізнати позитивні або негативні результати експериментів?	Наскільки легко ідентифікувати точки впливу для негайних дій?	Наскільки легко ідентифікувати ознаки, які допоможуть класифікувати проблему?

Джерело: побудовано авторами.

Для аналізу можна використовувати експертне опитування залучених до прийняття рішень осіб і систему бального оцінювання. Оцінювання можна здійснювати, наприклад, за трибальною системою. В табл. 2 показано категоризацію оцінок ризиків у контексті складових CARVER і доменів Cynefin Framework.

Розглянемо приклад використання інтеграції цих методик для визначення ефективних дій у різноманітних випадках несподіваного падіння обсягу продажів продукту.

1. Простий домен — проблеми з поставкою сировини, які призвели до тимчасового зменшення виробництва продукту:

- *критичність* — висока (важливо для досягнення цілі, тому що обсяг продажів є однією з цілей діяльності організації);

- *доступність* — висока (доступні дані про продажі);
- *відновлюваність* — швидке відновлення (впровадження стандартних заходів може швидко відновити продажі);
- *уразливість* — низька (причини легко усунути);
- *ефект* — значний, але не критичний вплив на короткострокові продажі;
- *розпізнаваність* — легка (чіткі показники продажів є в наявності або їх легко отримати).

Оскільки причина та наслідок очевидні, необхідно швидко налагодити постачання сировини або знайти альтернативних постачальників, щоб відновити обсяги виробництва та продажів. Наприклад, можна укласти нові контракти з постачальниками або оптимізувати використання запасів.

Таблиця 2. Категоризація оцінок ризиків у контексті складових CARVER і доменів Synefin Framework

Складові CARVER	Домени Synefin Framework				
	простий	складний	заплутаний	хаотичний	невизначений
Критичність (Criticality)	Розуміння причин: низька — мінімальний вплив на цілі організації; середня — вплив є, але можна керувати стандартними процедурами; висока — критично важливо для досягнення основних цілей.	Потреба в експертах: низька — не потребує значних експертних знань; середня — потрібні деякі експертні знання; висока — критично важливо залучення експертів.	Розуміння взаємодії: низька — можна зрозуміти взаємодії без значних зусиль; середня — потрібно деякий час для розуміння взаємодій; висока — критично важливо зрозуміти всі взаємодії для вирішення проблеми.	Негайні дії для стабілізації: низька — негайне втручання не є критичним; середня — потрібно швидке втручання, але не критично; висока — критично важливо негайно втрутитися для зупинення хаосу.	Потрібно класифікувати для подальших дій.
Доступність (Accessibility)	Дані про ситуацію: легка — дані про продажі легко доступні; середня — дані доступні, але потребують обробки; складна — дані важкодоступні або частково відсутні.	Доступність експертів та аналітиків: легка — експерти та ресурси легко доступні; середня — доступ до експертів можливий, але обмежений; складна — важко знайти необхідних експертів або ресурси.	Потреба в експериментальних даних: легка — дані для експериментів легко доступні; середня — дані доступні, але потребують обробки; складна — дані важкодоступні або частково відсутні.	Час для дій: легка — ресурси для швидкого втручання легко доступні; середня — ресурси доступні, але обмежені; складна — важко знайти необхідні ресурси для негайних дій.	Залежить від доступності інформації.

Відновлюваність (Recuperability)	Впровадження стандартних заходів: швидка — стандартні заходи швидко відновлюють норму; середня — потрібно більше часу для відновлення; повільна — відновлення потребує значних зусиль та часу.	Залежить від складності аналізу: швидка — експертні знання дозволяють швидко відновити норму; середня — відновлення потребує часу аналізу; повільна — відновлення займає значний час і зусилля.	Залежить від результатів експериментів: швидка — система швидко відновлюється після тестування; середня — відновлення потребує часу; повільна — відновлення займає значний час і зусилля.	Залежить від успішності негайних дій: швидка — швидке відновлення після стабілізації; середня — відновлення потребує часу; повільна — відновлення займає значний час і зусилля.	Відновлення після класифікації.
Уразливість (Vulnerability)	Можливість усунути причини: низька — легко усунути причини проблеми; середня — проблема має декілька аспектів, що потребують уваги; висока — багато уразливих місць.	Потреба у глибокому аналізі: низька — проблему можна усунути за допомогою експертів; середня — потрібно вирішити декілька аспектів за допомогою експертів; висока — без експертної допомоги проблема дуже уразлива.	Невідомі взаємодії: низька — небагато невідомих взаємодій; середня — деякі аспекти можуть бути уразливими; висока — багато невідомих взаємодій, що створюють уразливість.	Непередбачувані наслідки: низька — небагато уразливих місць до хаотичних подій; середня — деякі аспекти можуть бути уразливими; висока — багато уразливих місць, що створюють небезпеку.	Невизначеність створює вразливість.
Ефект (Effect)	Вплив на короткострокові результати: мінімальний — невеликий вплив на короткострокові продажі; середній — значний вплив, але не критичний; великий — суттєвий негативний вплив на продажі.	Вплив на стратегічне планування: мінімальний — невеликий вплив при правильному рішенні; середній — значний, але керований вплив; великий — суттєвий негативний вплив при неправильному рішенні.	Наскільки результати можуть бути непередбачуваними: мінімальний — великий вплив на організацію; середній — значний, але керований вплив; великий — суттєвий негативний вплив при невдалих експериментах.	Вплив на стабілізацію: мінімальний — невеликий вплив на стабілізацію; середній — значний, але керований вплив; великий — суттєвий негативний вплив при неправильних діях.	Вплив на вибір стратегії.
Розпізнаваність (Recognizability)	Наскільки чіткі показники результату: легка — проблему легко ідентифікувати; середня — потрібен аналіз для іден-	Наскільки експерти можуть ідентифікувати проблему: легка — експерти легко ідентифікують проблему; середня — потрі-	Наскільки результати експериментів можуть бути неоднозначними: легка — результати експериментів легко розпізна-	Наскільки можлива ідентифікація точок впливу: легка — точка впливу для негайних дій легко ідентифікувати; серед-	Потрібно зібрати достатньо даних.

	тифікації; складна — важко розпізнати на початкових етапах.	бен детальний аналіз для ідентифікації; складна — важко ідентифікувати без глибокого аналізу.	ти; середня — потрібен аналіз для розуміння результатів; складна — результати експериментів можуть бути неоднозначними.	ня — потрібен аналіз для ідентифікації точок впливу; складна — важко ідентифікувати точки.	
--	---	---	---	--	--

Джерело: побудовано авторами

2. Складний домен — законодавчі зміни вплинули на процеси виробництва або продажу продукту, що призвело до падіння продажів:

- *критичність* — середня (потрібні деякі експертні знання, яких немає в наявності в організації);
- *доступність* — висока (є доступ до експертів та аналітиків, яких можна залучити);
- *відновлюваність* — середня (залежить від складності аналізу, але скоріш за все це потребує часу);
- *уразливість* — середня (декілька аспектів проблеми потребують аналізу експертів);
- *ефект* — середній (керований вплив на стратегічне планування);
- *розпізнаваність* — легка (експерти можуть ідентифікувати проблему).

Потрібно залучити експертів для аналізу змін у законодавстві та розробки плану дій, який забезпечить відповідність новим вимогам. Наприклад, можна провести юридичну експертизу, відповідно до якої адаптувати виробничі процеси до нових стандартів.

3. Залучаний домен — зміна споживацьких уподобань, що негативно вплинуло на попит на продукт. Причини цих змін можуть бути різноманітними і не завжди очевидними:

- *критичність* — висока (необхідно зрозуміти взаємодії споживача і продукту для вирішення проблеми);
- *доступність* — середня (потрібні експериментальні дані для доступної цільової аудиторії);
- *відновлюваність* — середня (залежить від результатів експериментів і потребує деякого часу);
- *уразливість* — висока (багато невідомих взаємодій, які впливають на споживача);
- *ефект* — потенційно великий (результати можуть бути непередбачуваними і при невдалому експерименті негативними);
- *розпізнаваність* — середня (результати експериментів потребують аналізу для розуміння ризику).

Потрібно проводити експерименти та дослідження для розуміння нових уподобань споживачів та адаптації продукту відповідно до них. Наприклад, можливо провести маркетингове дослідження, опитування споживачів, тестування нових варіантів продукту.

4. Хаотичний домен — різке падіння продажів через негативні відгуки в соціальних мережах, що вимагає негайного втручання:

- *критичність* — висока (потрібні негайні дії для стабілізації);
- *доступність* — низька (обмежений час для дій);
- *відновлюваність* — повільна (потребує часу та зусиль і залежить від успішності негайних дій);
- *уразливість* — висока (непередбачувані наслідки і багато вразливих місць через появу конкурентів і їх невідомі для нас конкурентні стратегії);
- *ефект* — середній (негайний, але керований вплив на стабілізацію);
- *розпізнаваність* — середня (потрібен аналіз для ідентифікації точок впливу).

Потрібно швидко реагувати на негативні відгуки, взаємодіяти зі споживачами, виправляти проблеми та відновлювати довіру до бренду. Наприклад, можна запустити антикризові комунікаційні кампанії, прямо звернутись до споживачів з вибаченнями та планом виправлення проблеми.

5. Невизначений домен — відсутність чіткої інформації про причини падіння продажів. У цій ситуації немає зрозумілих ознак, які б вказували на конкретну причину падіння продажів. Всі інші домени можуть бути задіяні:

- *критичність* — висока (потрібно класифікувати причини для подальших дій);
- *доступність* — середня (певна інформація доступна);
- *відновлюваність* — швидка (можливе відновлення після класифікації причин);
- *уразливість* — висока (невизначеність створює вразливості);
- *ефект* — високий (вплив на вибір стратегії розвитку організації);
- *розпізнаваність* — важка (потрібно зібрати достатньо даних для ідентифікації причин і їх наслідків).

Необхідно спочатку розділити проблему на частини, щоб зрозуміти, які з них відносяться до простих, складних, заплутаних або хаотичних доменів. Наприклад, можна організувати робочі групи для збору даних, проведення аналітики та розробки планів дій для кожної визначеної частини проблеми.

Ці приклади показують, як різні ситуації можуть відповідати різним доменам Sunefin Framework, і як це впливає на прийняття рішень та дії для вирішення проблеми.

Висновки

Інтеграція методик Sunefin Framework та CARVER для прийняття рішень в умовах ризику демонструє суттєві переваги в управлінні складними та непередбачуваними ситуаціями та дає змогу створити потужний синергетичний підхід до управління ризиками. Sunefin Framework допомагає визначити контекст, в якому приймається рішення, розділяючи ситуації на прості, ускладнені, складні та хаотичні. Це розподілення надає основу для подальшого застосування CARVER, яке деталізує аналіз кожної ситуації, враховуючи критичність, доступність ресурсів, здатність до відновлення, уразливість, ефект та розпізнаваність проблеми, дає змогу чітко класифікувати проблеми за їх природою та визначити відповідні стратегії для їх вирішення, розподіляючи ситуації на прості, ускладнені, складні та хаотичні. Цей підхід надає основну структуру, в якій кожна проблема може бути оцінена та розв'язана з урахуванням контексту.

Таким чином, інтеграція цих методик створює комплексний підхід до прийняття рішень в умовах ризику, що дає змогу не лише ідентифікувати та класифікувати проблеми, але й ефективно їх вирішувати, використовуючи оптимальні стратегії та ресурси.

У статті розглянуто, як ці дві методики можуть бути об'єднані для покращення процесу прийняття рішень в різних контекстах та ситуаціях, зокрема у випадках несподіваного падіння обсягу продаж продукту.

Цей комплексний підхід до прийняття рішень у різних контекстах дає змогу організаціям бути більш підготовленими до несподіваних змін і викликів, підвищуючи їх стійкість та конкурентоспроможність на ринку. Застосування інтеграції Cynefin Framework та CARVER є перспективним напрямком для подальших досліджень і практичної реалізації в ризик-менеджменті та прийнятті ефективних рішень в умовах ризику.

Подальше дослідження може бути спрямоване на практичні експерименти щодо використання запропонованих методик в бізнес-організаціях різних сфер діяльності.

Література

Мін, Л. (2022). Метод вибору проектного підходу на основі моделі «Cynefin». *Управління розвитком складних систем*, 50, 22—38. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.50.22-38>.

Репіло, Ю., Приміренко, В., & Дем'янюк, А. (2023). Методика визначення пріоритетності об'єктів противника для прийняття їх як можливих цілей з метою вогневої підтримки з використанням матриці CARVER. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*, 47(2), 155—156.

Bencie, L., & Araboghlі, S. (2018). A 6-Part Tool for Ranking and Assessing Risks. *Harvard Business Review*. September 21st. Взято з <https://hbr.org/2018/09/a-6-part-tool-for-ranking-and-assessing-risks>.

Beurden, E., Kia, A., Zask, A., Dietrich, U., & Rose, L. (2013). Making sense in a complex landscape: how the Cynefin Framework from Complex Adaptive Systems Theory can inform health promotion practice. *Health Promotion International*, 28(1), 73—83. <https://doi.org/10.1093/heapro/dar089>.

Bilgiç, E., Tulger Kara, G., & Gündüz, O. (2017). Assessment of risks for drinking water infrastructures by CARVER Method: Case Study — İzmir. *Sigma J. Eng & Nat*, 8(3), 199—208.

Bridges, M. (2024). The Cynefin Framework: A Strategic Tool for Achieving Operational Excellence. *Medium*. Взято з <https://mark-bridges.medium.com/the-cynefin-framework-a-strategic-tool-for-achieving-operational-excellence-2886b33c2481>.

Eberth, A. M. (2021). The Cynefin Framework: A Retrospective Application to University Library Leadership COVID-19 Responses. *Kansas Library Association College and University Libraries Section Proceedings*, 11(1). <https://doi.org/10.4148/2160-942X.1081>.

Fierro, D., & Putino, S. (2018). The Cynefin Framework and the Technical Leadership: How to Handle the Complexity. *INCOSE International Symposium*, 28(1), 532—552. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2018.00498.x>.

Kempermann, G. (2017). Cynefin as Reference Framework to Facilitate Insight and Decision-Making in Complex Contexts of Biomedical Research. *Front. Neurosci*, 11, 634. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00634>.

McLeod, J., & Childs, S. (2013). The Cynefin framework: A tool for analyzing qualitative data in information science? *Library & Information Science Research*, 35(4), 299—309. <https://doi.org/10.1016/j.lisr.2013.05.004>.

Snowden, D. (2000). Cynefin: a sense of time and space, the social ecology of knowledge management. *Knowledge Horizons: The Present and the Promise of Knowledge Management*, eds C. Despres and D. Chauvel. Boston: Butterworth-Heinemann.

Snowden, D. J., & Boone, M. E. (2007). A leader's framework for decision making. *Harv. Bus. Rev.*, 85, 68—76.

Woodcock, M., & Francis, D. (1997). *The Woodcock and Francis Team Development Toolkit*. Gower Publishing Ltd.

Wysokińska-Senkus, A., Górna, J., Kaźmierczak, M., Mielcarek, P., & Senkus, P. (2022). CARVER+Shock and Business Process Management in Improving Food Safety of Primary Production. *Agriculture*, 12, 1018. <https://doi.org/10.3390/agriculture12071018>.

Zosym, M. (2022). Cynefin framework / Модель «Кеневін». Взято з <https://www.maxzosim.com/cynefin-framework-model-kenevin/>.

УДК 621.316

AN INNOVATIVE METHOD FOR MINIMIZING VOLTAGE FLUCTUATIONS IN DISTRIBUTED POWER SUPPLY SYSTEMS

S. Baliuta, V. Shesterenko

National University of Food Technologies

Key words:

Alternating voltage

Harmonics

Power supply system

Voltage regulator

Article history:

Received 16.09.2024

Received in revised form
30.09.2024

Accepted 08.10.2024

Corresponding author:

S. Baliuta

E-mail:

epp11@ukr.net

Citation: Балюта С. М., Шестеренко В. Є. (2024). Інноваційний метод мінімізації коливань напруги в розосереджених системах електрозабезпечення. *Наукові праці НУХТ*, 30(5), 122—130.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-10

ABSTRACT

In distributed sources of power supply there are constantly conditions in which the voltage can change at a high speed. For example: gusty wind in the area where a wind power plant is installed, small clouds moving over a solar power plant. In the electricity standard, such changes in voltage are introduced as "fluctuations" voltage.

The effect of low-quality voltage are electromagnetic and technical losses. That is results in increasing expenses on power and energy, reduction of the equipment operating cycle, process losses, which include reducing production, decreasing product quality and production of low-quality products

Thus, the voltage deviation is one of the major problems in power supply systems of industrial enterprises. Its solution is a priority task in the design of power supply systems. The ways of improving the efficiency of food production by reducing process losses caused by defective voltage were studied. The way to improve voltage quality was suggested.

The systematic approach to voltage regulation that allows increasing economic performance of energy sources was introduced. The most promising is the regulation method acting on voltage and reactive power.

Deviation of current waveform and sinusoid voltage was studied by using harmonic components (harmonics) according to the mathematical theory established by Fourier (1768—1830). The term "harmonic" is used in acoustics to refer to string vibrations with a frequency multiplied to the fundamental frequency of vibrations. Higher harmonics have negative effect on all types of electrical equipment, even at a considerable distance from the harmonic generation. They create additional noise in telecommunication, leading to false replies of responsive equipment. The problem of higher harmonics is the main problem of electromagnetic compatibility of electrical equipment due to the increased power of thyristor converters and the widespread use of electronic automatic control systems that are sensitive to the shape of the sine wave voltage. If power network voltage, where the installation of a switching regulator is planned, is non-sinusoidal, there is a real opportunity to use a voltage regulator to minimize higher harmonics.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-10

ІННОВАЦІЙНИЙ МЕТОД МІНІМІЗАЦІЇ КОЛИВАНЬ НАПРУГИ В РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

С. М. Балюта, В. Є. Шестеренко

Національний університет харчових технологій

У розосереджених джерелах електрозабезпечення (РДЕ) постійно виникають умови, при яких величина напруги може змінюватися з великою швидкістю. Наприклад, поривчастий вітер на місцевості, де змонтована вітроелектростанція (ВЕУ), невеликі хмари, що рухаються над сонячною електростанцією (СЕС). В стандарті на електроенергію такі зміни напруги визначаються, як «коливання напруги».

Вплив неякісної напруги на електромагнітні й технологічні втрати проявляється у зростанні втрат потужності та енергії, зменшенні терміну служби обладнання, технологічних збитках, що включають зменшення продукції, зниження якості продукції, випуск неякісної продукції.

Колівання напруги є однією з найважливіших проблем у системах електропостачання промислових підприємств. Її вирішення є пріоритетним завданням при проєктуванні систем електрозабезпечення. Розглянуто шляхи підвищення ефективності харчових виробництв за рахунок зниження технологічних втрат, викликаних неякісною напругою. Запропоновано спосіб підвищення якості напруги, системний підхід до регулювання напруги, що дає змогу підвищити економічні показники джерел енергії. Найперспективнішим є метод регулювання шляхом дії на напругу і на реактивну потужність.

Відхилення форми кривих струму і напруги від синусоїди розглядають за допомогою гармонічних складових (гармонік) за математичною теорією, створеною Фур'є (1768—1830). Термін «гармоніка» використовується в акустиці для позначення коливань струни з частотою, кратною основній частоті коливання. Вищі гармоніки негативно діють на електрообладнання всіх видів, навіть на значній відстані від місця генерації гармонік. Вони створюють додатковий шум у телефонному зв'язку, призводять до помилкових спрацювань відповідальної апаратури. Проблема вищих гармонік — це основна частина проблеми електромагнітної сумісності. Регулювання напруги забезпечує компенсацію втрат напруги у системі електропостачання з метою підтримування заданої якості напруги на затискачах електроприймачів. В енергосистемі можливості регулювання обмежені вимогами стійкості паралельної роботи генераторів. Регулятор напруги може використовуватися для мінімізації рівня вищих гармонік.

Ключові слова: коливання напруги, вищі гармоніки, система електрозабезпечення, регулятор напруги.

Постановка проблеми. Широке впровадження в електричних мережах відновлювальних джерел енергії (фотоелектростанцій і вітроелектростанцій), а також встановлення станцій зарядки електромобілів великої одиничної потужності призводить до суттєвого погіршення показників якості електричної енергії (коливань

напруги у споживачів та появи імпульсів перенапруги). Коливання напруги призводять до суттєвих збитків у споживачів. Енергопостачальна компанія може компенсувати ці збитки, але для цього необхідно визначити характеристики коливань відповідно з чинним стандартом. Оскільки в діючих мережах відсутні ефективні пристрої захисту від коливань напруги та імпульсів перенапруги, необхідно розробити засоби захисту електронних пристроїв споживачів від різких коливань напруги та імпульсів перенапруги.

Огляд останніх досліджень і публікацій. При збільшенні кількості та потужності альтернативних джерел розосередженої генерації в електричних мережах відбувається погіршення показників якості електричної енергії за рахунок наявності частотних перетворювачів електричної енергії. До альтернативних джерел відносяться вітрові, сонячні та малі гідроелектростанції. Розподілені джерела енергії в електричній мережі впливають на режими її роботи, в результаті чого виникають нові можливості і нові задачі щодо оптимального використання розподілених джерел енергії (РДЕ) (Jung, Onen, Arghandeh, & Broadwater, 2014). РДЕ постачають електроенергію найближчим споживачам, а в разі появи надлишків енергії можуть її передавати в мережі централізованого електропостачання (Sara-bia, 2018). РДЕ умовно можна поділити на керовані (дизельні електричні станції, когенераційні тощо), умовно керовані (малі ГЕС за відсутності достатньої для безперервної роботи кількості води) і некеровані, наприклад, ВЕС і СЕС (Huber, Dimkova, & Namacher, 2014). Кількість РДЕ з кожним роком зростає, що призводить до виникнення ситуації, коли в електричній мережі можуть експлуатуватись декілька різнотипних РДЕ, серед яких некеровані і умовно керовані (Hri-sheekesha, & Sharma, 2020). Розподілене генерування також може бути джерелом вищих гармонік у мережі. Гармоніки можуть бути або з самого генератора (синхронного генератора) або від обладнання силової електроніки, такого як інвертори. При широкому впровадженні РДЕ в окремих випадках централізована система електропостачання перетворюється в децентралізовану (Salles, Jiang, Xu, Freitas, & Mazin, 2015). Впровадження джерел розосередженої генерації характеризується різким збільшенням силових електронних систем, що призводить до погіршення якості електричної енергії. При приєднанні нових джерел РГ змінюється система перетікань потужності та рівні напруги в мережі. Вказані джерела є нестабільними в тому плані, що в кожен момент часу первинні джерела ВДЕ (вітер і сонце) є нестабільними. Можна побудувати сонячні модулі, які будуть повертатись за сонцем і зробити більш досконалі вітряки, що врахують напрямок вітру, однак на наявність або відсутність хмар людина поки що впливати не навчилась (Juelsgaard, Bendtsen, & Wisniewski, 2017). Причинами такого погіршення показників якості електричної енергії в електричній мережі, наряду з впровадженням джерел розосередженої генерації (генерація в електричну мережу гармонік, інтер- та субгармонік), є також наявність у споживачів потужних нелінійних, несиметричних навантажень з різкозмінним режимом роботи. До таких навантажень відносяться дугові електросталеплавильні печі, потужні прокатні стани, електрозварні пристрої тощо (Shen, Jiang, & Li, 2015).

Вказані навантаження негативно впливають на якість електричної енергії систем електропостачання, до яких вони підключені. Це обумовлено тим, що характер споживання ними активних і реактивних потужностей відповідає їх різкозмін-

ним, повторно-короткочасним режимам роботи, що призводить до коливань напруги. Коливання напруги, у свою чергу, призводять до модуляції у часі амплітуд і фаз складових струму як основної, так і вищих гармонік, які генеруються в електричну мережу.

Мета дослідження: створити пристрій, що забезпечить зменшення до мінімуму небезпечних наслідків коливань напруги.

Матеріали і методи. Методи математичної статистики та моделювання, прогнозування, яке використовується для визначення залишкового ресурсу та теорія нечіткої логіки.

Викладення основних результатів дослідження. Коливання напруги, згідно із стандартом 13109-97, прийнятим в Україні, характеризуються трьома величинами: розмахом зміни напруги, частотою зміни напруги й інтервалом часу між змінами напруги.

Розмах зміни напруги — це різниця між екстремумами, що йдуть один за одним, обвідної діючих значень. Якщо обвідна має горизонтальні ділянки, розмах зміни напруги визначається як різниця між сусідніми горизонтальними ділянками:

$$\delta U_i = \frac{|U_i - U_{i+1}|}{\sqrt{2}U_{ном}} 100\% .$$

Частота повторювань змін напруги при періодичних коливаннях:

$$F = \frac{m}{T} ,$$

де m — кількість змін напруги за час T .

Гранично допустиме значення суми усталеного відхилення напруги та розмаху коливань напруги в точках приєднання до електричної мережі напругою 0,38 кВ дорівнює $\pm 10\%$ номінальної напруги.

Для характеристики коливань напруги стандарт 13109-97 вводить поняття дози флікера — інтегральна характеристика коливань напруги, що викликають у людини роздратування миготінням світла, яке накопичується за встановлений період часу.

Дозу флікера визначають з допомогою спеціального приладу — флікерметра. Для будь-якої силової мережі напругою 660...380 В коливання напруги мають бути не нижчими 85% від $U_{ном}$. Інакше може трапитися вимкнення магнітних пускатів, контакторів, реле. Коливання напруги можуть викликати нестабільність роботи синхронних двигунів і вихід їх із синхронізму. Коливання напруги призводять до зміни моменту на валу двигунів і скорочують їх термін служби (Шестеренко, 2017). Комбіноване електропостачання, коли безпосередньо в розподільних електричних мережах розбудовуються відновлювані джерела енергії (Tran, & Vaziri, 2005), призводить до появи великої кількості додаткових взаємозв'язків, суттєво впливає на потоки потужності в системах електропостачання і, в кінцевому випадку, на якість електричної енергії (Morstyn, Hredzak, & Agelidis, 2018). При цьому порушується технологічний процес на виробництвах, де потрібна стабільна частота обертання (двигуни ткацьких машин). Коливання напруги викликають миготіння ламп, що спричинює зниження продуктивності праці внаслідок стомлюваності очей, особливо на складанні точних механізмів, у креслярських

роботах. Ступінь впливу коливань напруги на зір залежить від швидкості змін напруги та абсолютного значення цих змін (розмах коливань). При коливаннях нечітко сприймаються деталі предметів, графічні зображення, що впливає на продуктивність праці.

При суттєвих розмахах порушується робота люмінесцентних ламп, виходять з ладу конденсатори та вентиля перетворювальних агрегатів, руйнуються магнітопроводи індукційних нагрівачів, порушується робота систем автоматичного управління синхронних двигунів. При живленні печей з тиристорним регулюванням відбувається нестійкий режим роботи автоматичного регулювання.

Значні розмахи викликають коливання електромагнітного моменту генераторів електростанцій, це негативно позначається на економічних показниках станції в цілому, нестійко працює автоматичне регулювання збудження генераторів, помилково спрацьовує форсування збудження.

Колівання напруги призводять до вібрації двигунів, насосів, трубопроводної арматури. Знижується міцність металу, скорочується термін його служби. При коливаннях з частотою 1 Гц термін служби трубопроводів унаслідок пульсацій напору насосів скорочується на 5...7%.

Як різновидність коливання напруги можна розглядати тимчасову перенапругу, імпульс напруги та провал напруги.

Таблиця 1. Очікуване значення імпульсу напруги згідно з ДСТУ 3109-97

Номінальна напруга, кВ	0,38	3	6	10	20	35	110	220
Комутаційна імпульсна напруга, кВ	4,5	15,5	27	43	85,5	148	363	705

Значення грозових імпульсних напруг з імовірністю 90% не перевищує 10 кВ в повітряних ЛЕП напругою 0,38 кВ та 6 кВ у внутрішніх електропроводах будинків і споруд. Тому необхідно у всіх мережах, які живлять електронні пристрої (комп'ютери, телевізори), встановлювати обмежувачі перенапруги.

Звичайно при оцінці впливу якості електроенергії виділяють дві складові: електромагнітну й технологічну. Електромагнітна складова зв'язана зі зміною втрат енергії при передачі. Електромагнітна складова більше пов'язана з нормально допустимими показниками, технологічна складова — з максимально допустимими показниками якості.

Найефективнішим засобом боротьби з коливаннями напруги є безінерційний трансформаторно-тиристорний регулятор напруги, створений на базі трифазного вольтдобавочного трансформатора з трьома обмотками збудження EW_1 , EW_2 та EW_3 (рис. 1).

Виконавчі органи всіх регуляторів можна поділити на три групи: електромеханічні, електромагнітні та напівпровідникові (електронні). Застосування тиристорів для регулювання напруги виявляється економічно виправданим у разі великого числа перемикачів за рік. Тиристори можна використовувати в двох напрямках: перший — використовуються як силові комутуючі елементи; другий — тиристори в силових колах, що використовуються для плавного безінерційного

регулювання напруги в заданому діапазоні. Застосування напівпровідникових приладів дає змогу усунути ряд недоліків механічного регулювання напруги (невисоку швидкодію, низький ресурс).

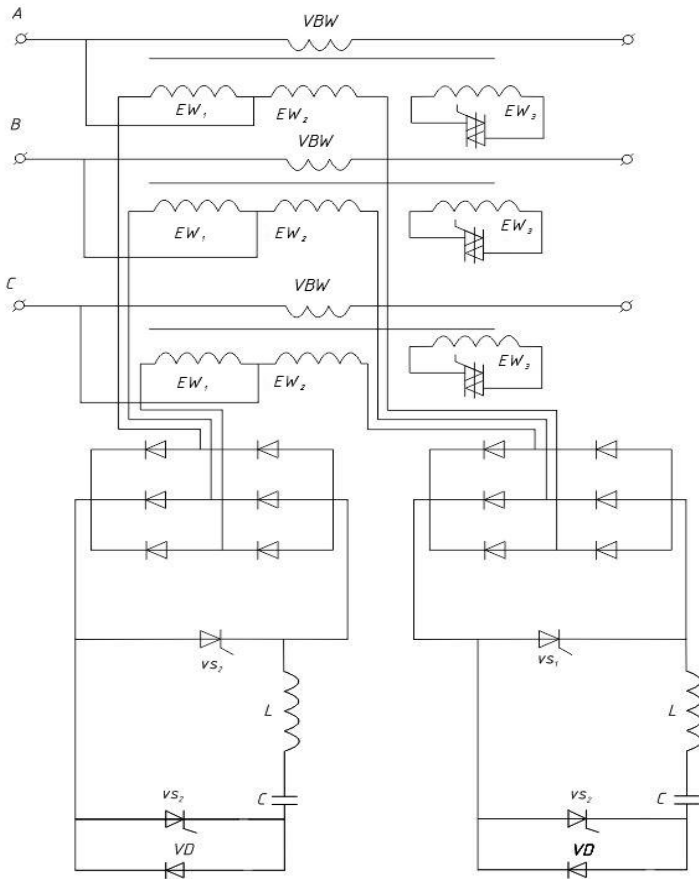


Рис. 1. Принципова схема універсального мостового трифазного регулятора напруги на тиристорах та симисторах (патент України на винахід № 104080)

Переваги тиристорних виконавчих органів загальновідомі. Але ефект напівпровідникового регулювання суттєво знижується внаслідок спотворення синусоїди напруги та струму. Необхідно шукати методи та пристрої з малим, допустимим для електричних мереж ступенем спотворення синусоїди вищими гармоніками.

Запропонований спосіб подачі напруги у вигляді послідовності імпульсів, висота яких змінюється за синусоїдальним законом, а ширина — за лінійним. Згідно із загальноприйнятою класифікацією цю напругу можна розглядати як один із видів амплітудно-імпульсної модуляції (АІМ) зі змінною шириною імпульсів і стабільною амплітудою моделюючої напруги.

До основних параметрів, що характеризують цей вид АІМ, відносять коефіцієнт послідовності імпульсів m , що дорівнює числу імпульсів в одному періоді напруги модуляції, частота якої дорівнює частоті мережі:

$$m = f_n/f,$$

де f_n — несуча або модульована частота.

Використання напруги з АІМ призводить до спотворення форми напруги $U_{вих}$. Ступінь спотворення можна визначити кількома способами. Основним критерієм оцінки несинусоїдальності напруги є гармонічний склад напруги на виході регулятора.

Одним із важливих параметрів АІМ є скважність:

$$Q' = (t_i + t_n)/t_n,$$

де t_i — тривалість імпульсу; t_n — тривалість паузи між імпульсами.

Скважність для напруги добавки може змінюватися в таких межах:

$$1 \leq Q' \leq \infty,$$

що викликає труднощі при дослідженні АІМ. Тому як параметр, що характеризує регульовальну властивість імпульсного регулятора, прийнято ступінь регулювання ψ — величина, що зворотна скважності:

$$\psi = 1/Q'.$$

Враховуючи, що α характеризує тривалість імпульсів, ступінь регулювання визначається як:

$$\psi = \alpha m / 2\pi.$$

Діюче значення напруги добавки плавно регулюється синхронною зміною ширини всіх імпульсів. При цьому можуть існувати три способи широтного регулювання:

- а) одностороннє шляхом зміщення задніх фронтів;
- б) двостороннє шляхом одночасного зміщення передніх і задніх фронтів;
- в) одностороннє при зміщенні тільки передніх фронтів.

Усі три види регулювання при $m = 6$ дали практично однакові результати, і три криві $k_{нес} = f(a)$ при односторонньому регулюванні за рахунок зміщення переднього та заднього фронтів і двостороннього регулювання збігаються.

Отже, криву $k_{нес} = f(a)$ не можна вважати визначальною характеристикою при виборі способу регулювання.

Важливо дослідити режим роботи виконавчого органу при трьох видах регулювання і вибрати такий спосіб, який забезпечив би максимальне використання потужності ВДТ без ускладнення інших елементів регулятора.

При всіх трьох видах регулювання необхідною та достатньою умовою симетрії напруги на виході регулятора та відсутності постійної складової в $U_{вих}$ є вибір коефіцієнта послідовності імпульсів таким, що дорівнює або ж є кратним шести.

Остаточний вибір значення несучої частоти f_n можна виконати, встановивши зв'язок між коефіцієнтом послідовності імпульсів і несинусоїдальністю напруги на виході.

Вважаючи, що напруга мережі синусоїдальна, можна записати, що в напрузі на виході регулятора:

$$\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2 = U_D^2 - U_{D1}^2,$$

де U_D^2 , U_{D1}^2 — відповідно, діючі значення напруги, що індукована у ВВВ і діючі значення першої гармоніки цієї напруги.

Оскільки імпульси напруги добавки промодульовані по синусоїді, діюче значення напруги добавки в загальному випадку має вигляд:

$$U_D = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \sum_{S=1}^m \int_{Q'_S}^{Q''_S} U_M^2 \sin^2 \theta d\theta}.$$

Після перетворень, враховуючи, що m кратне шести, одержимо вираз, дійсний для будь-якого з трьох видів регулювання.

$$U_D = U_M \cdot \sqrt{\frac{m\alpha}{4\pi}}.$$

Отже, кожен із видів регулювання забезпечує підтримання нормативних показників якості електричної енергії в системах електрозабезпечення з ВДЕ. Найбільш ефективний спосіб регулювання визначається, зважаючи на техніко-економічних показників усіх видів регулювання.

Висновки

Здійснено теоретичне узагальнення й розв'язання актуальної науково-технічної задачі регулювання напруги. Зниження якості електроенергії проявляється у зростанні втрат потужності та енергії, зменшення терміну служби обладнання, технологічних збитках, що включає в себе зменшення якості продукції, випуску неякісної продукції.

Застосування напівпровідникових приладів дає змогу усунути ряд недоліків механічного регулювання напруги (невисоку швидкодію, низький ресурс) і залишити основну його перевагу — синусоїдність форми напруги.

Безінерційність роботи регулятора дасть змогу підвищити стабільність роботи локальних мереж розосередженої системи електрозабезпечення.

Лінійна регульовальна характеристика імпульсного регулювання напруги — це одна з переваг способу регулювання напруги, оскільки спрощує схему керування та підвищує стабільність роботи регулятора.

Література

- Правила улаштування електроустановок (2017). Х.: «Форт».
- Правила користування електричною енергією. Затверджено постановою НКРЕ 31.07.2005 № 910. Зареєстровано в міністерстві юстиції України 18.11.2005 № 1399/11679.
- Шестеренко, В. Є. (2017). *Проектування систем електропостачання*. К.: ПП «К».
- Huber, M., Dimkova, D., & Hamacher, T. (2014). Integration of wind and solar power in Europe: Assessment of flexibility requirements. *Energy*, 69, 236—246. Взято з <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214002680>.
- Hrisheekesha P., & Sharma J. (2020). Evolutionary algorithm based optimal control in distribution system with dispersed generation. *International Journal of Computer Applications*, 14, 31—37. DOI: 10.5120/305-471.
- Juelsgaard, M., Bendtsen, J., & Wisniewski, R. (2017). Utilization of Wind Turbines for Upregulation of Power Grids. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60(7), 2851—2863. DOI: 10.1109/JESTPE.2013.2275978.
- Jung, J., Onen, A., Arghandeh, R., & Broadwater, R. (2014). Coordinated control of automated devices and photovoltaic generators for voltage rise mitigation in power distribution circuits. *Renewable Energy*, 66, 532—540. DOI: 10.1016/j.renene.2013.12.039.
- Morstyn, (T), Hredzak, (B), & Agelidis, V. (2018.) Network Topology Independent Multi-Agent Dynamic Optimal Power Flow for Microgrids with Distributed Energy Storage Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(4), 3419—3429. DOI: 10.1109/TSG.2016.2631600.
- Mousavi, O. A., & Cherkaoui, R. (2019). Investigation of P-V and V-Q based optimization methods for voltage and reactive power analysis. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 63, 769—778. DOI: 10.1016/j.ijepes.2014.06.060.

Salles, D., Jiang, C., Xu W., Freitas, W., & Mazin, H. E. (2015). Assessing the collective harmonic impact of modern residential loads — Part I: Methodology. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27(4), 1937—1946. DOI: 10.1109/TPWRD.2012.2207132.

Sarabia, A. F. (2018). Impact of distributed generation on distribution system. (Masters Dissertation). Department of Energy Technology, Aalborg, Denmark. Взято з <https://projekter.aau.dk/projekter/files/52595515/>.

Shamtsyan, M., Klepikov, A. (2016). Some prospects of pulsed electric field treatment in food processing. *Journal of Food and Packaging Science. Technique and Technologies*, 2(1), 60—64. Взято з https://www.researchgate.net/profile/Nedyalka-Valcheva/publication/333853039_Mikroflora_na_lecebni_i_izvorni_vodi_v_Blgaria/links/5d08fc1da6fdcc35c1579632/Mikroflora-na-lecebni-i-izvorni-vodi-v-Blgaria.pdf#page=58.

Shen, J., Jiang, C., & Li, B. (2015). Controllable Load Management Approaches in Smart Grids. *Energies*, 8(10), 11187—11202. DOI: 10.3390/en81011187.

Tran, K., & Vaziri, M. (2005). Effects of dispersed generation (DG) on distribution systems. *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 3, 2360—2364. DOI: 10.1109/PES.2005.1489235.

Yi-Chung, Hu. (2016). Electricity consumption prediction using a neural- network-based grey forecasting approach. *Journal of the Operational Research Society*, 68, 1259—1264.

STARCH MODIFICATION WITH ACETYLSALICYLIC ACID CHLOROHYDRIDE FOR THE FOOD AND PACKAGING INDUSTRY NEEDS

S. Shulga, O. Shulga

National University of Food Technologies

Key words:

*Starch
Modification
Salicylic acid
Food packaging*

Article history:

Received 05.09.2024
Received in revised form
21.09.2024
Accepted 11.10.2024

Corresponding author:

O. Shulga
E-mail:
shulgaos@ukr.net

Citation: Шульга С. І., Шульга О. С. (2024). Модифікація крохмалю хлорангідридом ацетилсаліцилової кислоти для потреб харчової промисловості та пакувальної індустрії. *Наукові праці НУХТ*, 30(5), 131—141.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-11

ABSTRACT

The potato starch modification with acetylsalicylic acid chloride was carried out and was confirmed by elemental analysis, and the obtained product was investigated by physicochemical methods. There were changes in the vibration frequency bands of native starch in the uncharacteristic region in the IR spectra: the vibration frequency at 981.81 cm⁻¹ increased and in the modified starch spectrum lied at 1022 cm⁻¹, and the band with the vibration frequency of 923 cm⁻¹ shifted to 860 cm⁻¹, which indicated a change in the spectrum. A band at 1716 cm⁻¹ was presented in the esterified starch spectrum, which was characteristic of C=O in the ester group.

X-ray phase analysis of native and modified starch showed that acylation led to a decrease in the crystalline phase from 12 to 3%.

There was occurred the deacylation of acetylsalicylic acid during the starch modification reaction since the the modified starch NMR spectrum lacks the methyl group signal, which was part of the acyl group, and a signal appeared at 9.6 ppm, which was characteristic of phenolic hydroxyl.

It was found that modified starch differs significantly from the native starch in terms of water retention and thermal stability according to the thermogravimetric research data.

The appearance of starches grains before and after acylation showed the potato chemical modification starch led to the destruction of the grains initial shape.

The thermogravimetric research showed that chemically modified starch with acetylsalicylic acid chloride differs in water retention characteristics from the original potato starch.

The obtained modification product can be used in various food industry branches, as well as for obtaining environmentally safe materials, in particular, biodegradable and/or edible films.

МОДИФІКАЦІЯ КРОХМАЛЮ ХЛОРАНГІДРИДОМ АЦЕТИЛСАЛІЦИЛОВОЇ КИСЛОТИ ДЛЯ ПОТРЕБ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ПАКУВАЛЬНОЇ ІНДУСТРІЇ

С. І. Шульга, О. С. Шульга

Національний університет харчових технологій

Проведена модифікація нативного картопляного крохмалю хлорангідридом ацетилсаліцилової кислоти, яка підтверджена елементним аналізом, ІЧ-спектроскопією, ЯМР аналізом, а також досліджено отриманий продукт фізико-хімічними методами. В ІЧ-спектрах відбулися зміни смуг частоти коливань нативного крохмалю в нехарактеристичній області: частота коливань при $981,81\text{ см}^{-1}$ збільшилася і в спектрі модифікованого крохмалю лежить при 1022 см^{-1} , а смуга з частотою коливань 923 см^{-1} змістилася до 860 см^{-1} , що вказує на зміну спектра. Після ацилування в спектрі етерифікованого крохмалю наявна смуга при 1716 см^{-1} , що характерно для $\text{C}=\text{O}$ у складі естерної групи.

Рентгенофазовий аналіз нативного та модифікованого крохмалів показав, що ацилування призводить до зменшення кристалічної фази з 12 до 3%. Під час проведення реакції модифікації крохмалю відбулося деацилування ацетилсаліцилової кислоти, оскільки в ЯМР спектрі модифікованого крохмалю відсутній сигнал метильної групи, що входить до складу ацилу і з'явився сигнал при 9,6 м.ч., що характерно для фенольного гідроксилу.

За даними термогравіметричних досліджень встановлено, що модифікований крохмаль за характеристиками водоутримання й термічної стабільності суттєво відрізняються від вихідного нативного крохмалю. Зовнішній вигляд крохмалів до і після ацилування показує, що проведена хімічна модифікація картопляного крохмалю призводить до руйнування початкової форми зерен.

Результати термогравіметричних досліджень показують, що хімічно модифікований крохмаль хлорангідридом ацетилсаліцилової кислоти за характеристиками водоутримання відрізняються від вихідного картопляного крохмалю. Отриманий продукт модифікації можливий до використання в різних галузях харчової промисловості, а також для отримання екологічно безпечних матеріалів, зокрема, плівки.

Ключові слова: крохмаль, модифікація, саліцилова кислота, харчове пакування.

Formulation of the problem. Starch is a reserve polysaccharide of plants which accumulates in seeds, potato tubers, roots, leaves, etc. Its composed of two polysaccharide components — amylose (20—30%) and amylopectin (70—80%). Starch is the main component of plant raw materials for the food production. Its various chemically modified derivatives offer a great scope of high technological value in both food and non-food industries. Modified starches are designed to overcome one or more of the shortcomings, such as loss of viscosity and thickening power upon cooking and storage, particularly at low pH, retrogradation characteristics, syneresis, etc., of native starches. Oxidation, esterification, hydroxyalkylation, dextrinization, and cross-linking are some

of the modifications commonly employed to prepare starch derivatives. In a way, starch modification provides desirable functional attributes as well as offering economic alternative to other hydrocolloid ingredients, such as gums and mucilages, which are unreliable in quality and availability (Tharanathan, 2005).

Native starch can be gelatinized only under the condition of sufficient water and temperature, modified starches are pasteurized at room temperature, which makes it possible to use modified starches as thickeners and stabilizers (Hong, 2015; Rudrapatnam, 2005).

The authors (Shulga, Shulga, & Simurova, 2021; Шульга, 2019) were conducted by number of potato starch modifications, which made it possible to change the properties of the native starch for the needs of the packaging industry: biodegradable films for bakery and confectionery products. the modification of starch, because it provide the necessary properties of starch as a raw material for various industries.

Therefore, expanding the numerous of modified starches allows the needs the packaging, food or other industry.

The recent research analysis and publications. Starch-based materials are biodegradable, which makes it possible to use them as ecological packaging materials: for example, edible coatings based on chitosan, starch-salicylic acid and starch-cinnamaldehyde-thymol were applied to fresh cut-mango (Santacruz, 2021) or edible coatings was modified by adding salicylic acid or a cinnamaldehyde-thymol mixture to the cassava starch (Terán, 2022).

A series of modified starches were prepared by grafting acetylsalicylic acid (AsA) into starch by an esterification reaction then coated with polyvinylalcohol (Al-Adeemy, 2014).

Modification of starch by dicarboxylic acid anhydrides to starch esters, containing both hydrophilic and hydrophobic groups are known to improve its emulsification properties, and can also be used for encapsulation after hydrolysis (Bhosale, 2006).

The synthesis of long-chain fatty esters of corn starch (starch laurate and starch stearate) with a broad range in degree of substitution ($DS=0.24—2.96$) was described (Junistia et al., 2008). The fatty esters were prepared by reacting the starch with vinyl laurate or vinyl stearate in the presence of basic catalysts (Na_2HPO_4 , K_2CO_3 , and Na acetate) in DMSO at 110 °C.

An efficient method for synthesis of hydrophobically modified starch without using organic solvents was described. The esterification of starch was performed with long chain fatty acid chlorides (C8, C12, C16), at two stages. At the first stage, native starch was dispersed in an alkali reaction medium, and at the second stage, it was treated for esterification. Finally, hydrophobic starch esters were obtained with moderate degrees of substitution (DS -values <0.45). The reactivity of corn and potato starches under the same reaction conditions was also studied (Namazi et al. 2011).

Starch-based composite films incorporated with salicylic acid (SA) and waxy maize starch nanoparticles/ κ -carrageenan (WMSNs/KC) were used to achieve antimicrobial activity and improve the mechanical properties. WMSNs were fabricated through enzymolysis and recrystallisation method, followed by individually adding KC to form WMSNs/KC by self-assembly, and used as a nanofiller and stabilizer to be incorporated into hydroxypropyl tapioca starch-based films at a concentration of 0—9% (Fang, 2020).

Filmogenic suspensions based on starch (S) and salicylic acid/starch (SA-S) were

prepared and used to produce casted films (TPS and SA-TPS). An extensive characterization was conducted on both suspensions and casted films to assess their properties. Results evidenced that after storage for 120 days at 4 °C and 25 °C, the mold and yeast counts were significantly lower in the SA-S than in the S suspensions (Díaz-Díaz, 2023).

A simple method of starch modification using dimethyl sulfoxide (DMSO) was proposed. The selected solvent was widely used in organic synthesis, as it is well soluble in water, which allows its residues to be completely removed after the reaction. Acetylsalicylic acid chloride was used as a modifier. It is used in analytical chemistry, medicine, aniline dyeing and food industry, for food preservation due to its antiseptic properties. Derivatives of salicylic acid (sodium salicylate, cetisalicylic acid, methyl and phenyl esters) are well-known medicinal products. In addition, salicylic acid affects the functional state of wheat sprouts (Дідик та ін., 2011), exhibits stress-protective and regulatory properties for plants (Kavulych, 2023), affects the rheological properties of starch (Nep, 2016).

The literary sources analysis shows the proposed polysaccharide modification schemes are multi-stage, complex, require expensive and toxic reagents, which is unacceptable for the food industry. All this complicates the new modified starch introduction derivatives into practice, but the starch modification potential is still not exhausted.

Thus, work in the starch modification field is relevant and useful, as the search for obtaining starch with the necessary technological properties continues.

The aim of the research was to carry out the modification of potato starch and investigate the physicochemical properties of the obtained product of starch modification with acetylsalicylic acid chloride.

Materials and methods. Potato starch, salicylic acid, thionyl chloride, acetic anhydride, solvents — dimethyl sulfoxide (DMSO), dimethylformamide (DMF), methanol, ethanol were used in the research.

Preparation of starch for modification. 100 g of potato starch was placed in a 500 cm³ flask, connected to a water jet pump and heated in a boiling water bath for 9 hours. At the end of heating, the flask is disconnected from the pump and the flask is quickly closed with a stopper with a calcium chloride tube. Allow to cool to room temperature. The dry starch is quickly weighed and placed in a glass with a well-polished stopper. The product output is 87.20 g (moisture loss due to drying — 12.8%).

Preparation of DMSO. 300 cm³ of DMSO was poured into a flask with a well-polished stopper, 50 g of freshly roasted CaO at a temperature of 400 °C was added and kept for 2 days with periodic stirring. Next, DMSO was transferred to a 500 cm³ flask and 30 cm³ of dry benzene was added. Remaining water is distilled off under atmospheric pressure in the form of an azeotrope with benzene, then DMSO is distilled in a vacuum using a water jet pump.

The acylation of salicylic acid scheme with acetic anhydride is shown in Figure 1.

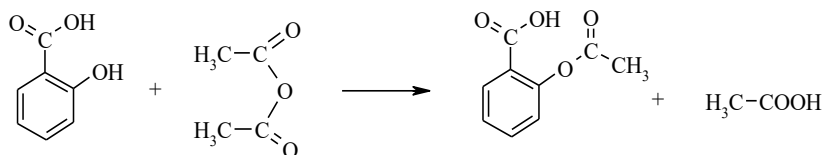


Figure 1. The scheme of salicylic acid acylation

In a 150 cm³ reactor equipped with a heated magnetic stirrer 13.8 g (0.1 M) of salicylic acid are placed with a thermometer and a reflux condenser, 15.3 g (0.15 g M) of acetic anhydride and 1 drop of sulfuric acid are added. While stirring, the mixture is kept for 1.5 hours at a temperature of 50—60 °C. Then the temperature is raised to 90 °C and stirred for another 0.5 hours. The mixture is cooled and, with stirring, 25 cm³ of cold water is added and the solid product is filtered, which is washed on the filter first with ice water and then with a small amount of toluene. The obtained product is dried in air. The product output is 15.1 g (90.1%). Acetylsalicylic acid is recrystallized from benzene or chloroform.

The synthesis scheme of acetylsalicylic acid chloride is shown in Figure 2.

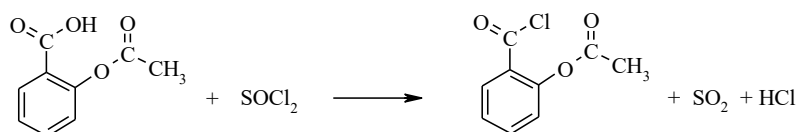


Figure 2. The scheme of acetylsalicylic acid chloride

16.8 g (0.1 M) of acetylsalicylic acid is placed in a 150 cm³ reactor equipped with a heated magnetic stirrer, a dropper, a thermometer, and a reflux condenser. During stirring, 17.8 g (0.15 M) of thionyl chloride are added in small portions through a dropping funnel. Gas (SO₂) is released and the reaction mass is slightly heated. After 1 hour, three drops of DMF were added, the temperature was maintained at 50—60 °C for another 5 hours. The thionyl chloride excess is driven off in the water jet pump vacuum. 16.4 g (88.2%) of the product is obtained, which is used without additional purification.

The starch acetylsalicylic acid chloride esterification occurred according to the reaction shown in Figure 3.

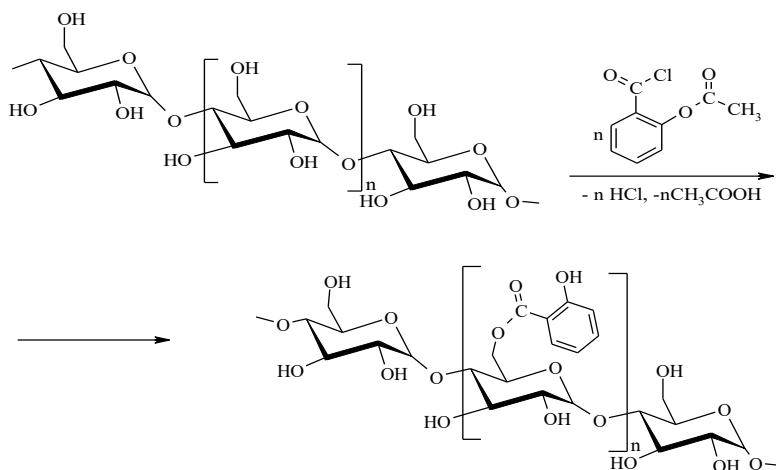


Figure 3. The reaction scheme of potato starch with acetylsalicylic acid chloride

1.8 g (0.01 M based on glucose) of dried starch and 200 cm³ of anhydrous DMSO are placed in a 500 cm³ three-necked reactor equipped with a heated magnetic stirrer, a

pouring funnel, a thermometer, and a reflux condenser. The contents of the flask are stirred for 3 hours at a temperature of 70 °C until a transparent, colorless jelly is formed. Next, stop heating the flask and add 0.12 g of K₂CO₃ (approximately 2% of the starch mass). During mixing, 2.8 g (0.15 M) of acetylsalicylic acid chloride is added in small portions through a funnel. The reaction mass thickened and the temperature rose to 75 °C. After 1 hour, the reaction mass turned into a thick, light-yellow pellet, the temperature decreased to room temperature. Then 150 cm³ of methanol or ethanol was added and intensively stirred for 1 hour. The yellowish precipitate that has fallen out is filtered off under the water jet pump vacuum and washed with methanol or ethanol (3×20 cm³). The product is air-dried at room temperature. The product output is 2.36 g (83.7%).

Research methods.

FT-IR. Infrared studies were conducted on the device Nexus — 475 firm Nicolet, KBr tablet (Chung et al., 2004).

X-ray. X-ray diffraction analysis was carried out by the DRON-3M device in CuK α emission with Ni filter; U=35 kV, I=20 mA; counterdisplacement angle $\Delta 2\theta$ is 0,04 ; time of intensity reckoning is 3 s (Namazi et al., 2010).

TGA. TGA (Thermogravimetric Analysis) research was carried out by the Q-1500B device, at a heating rate of 20 °C/min (Prime et al., 2009).

NMR. NMR spectra were recorded by the Mercury NMR spectrometer, Varian, 400 MHz in DMSO-d₆ (Namazi et al., 2010).

The main research results presentation.

Starch-salicylic acid (SA) inclusion complexes with different amounts of residual SA were obtained (Guo, 2023).

Authors of this research proposed an easy method of starch modification with acetylsalicylic acid chloride using dimethylsulfoxide (DMSO), which is well soluble in water, which allows to completely remove its residues after the reaction and minimize the danger of the final product.

IR spectrometric research.

The IR spectroscopy method was used to study the changes that occurred as a result of the starch acylation reaction.

The sample of the original native potato starch and the esterified derivative have a different spectrum from the analysis of their IR spectra uncharacteristic region (400—1000 cm⁻¹). As it is known (Thompson, 2018), numerical valence oscillations of C-C, C-N, N-O bonds and deformation oscillations are manifested in this region, which practically do not lend themselves to a certain attribution. This area of carbon skeleton vibration sensitively to minor changes in the structure of the molecule.

The changes took place as a result of the potato starch acylation reaction with acetylsalicylic acid chloride and they were confirmed by a number of factors, which are given below. Thus, in the IR spectrum of the modified starch, a maximum appeared at 1716.82 cm⁻¹, which is characteristic of C=O in the composition of the ester group in the modified starch as a result of the acylation reaction.

The IR spectrum of the original native potato starch contains a number of fluctuations in the uncharacteristic region, in particular 982 cm⁻¹, 923 cm⁻¹, 856 cm⁻¹, 764 cm⁻¹, 710 cm⁻¹ and in the spectrum of the etherified derivative sample — 1022 cm⁻¹, 858 cm⁻¹, 797 cm⁻¹, 759 cm⁻¹, 706 cm⁻¹.

In the uncharacteristic region spectrum of the original potato starch sample, the oscillations frequency at 982 cm^{-1} shifts to 1022 cm^{-1} , and the oscillations frequency at 923 cm^{-1} shifts to 858 cm^{-1} , which indicates a change in the native potato starch after acylation. Therefore, the original native potato starch sample and an esterified derivative have a different chemical composition due to the chemical modification of potato starch.

Confirmation of the potato starch acylation reaction was also a change in the nature of the valence vibrations νOH band. There was a sufficiently wide intense band located at 3389 cm^{-1} in the native potato starch spectrum and in the esterified derivative spectrum, this band is more intense and less wide and is located at 3409 cm^{-1} .

It is known (Suart, 2004) the position and character of the νOH band depend on the degree of hydroxyl group participation in hydrogen bonds. Hydrogen bonds change the force constant of the O-H bond, which reduces the oscillations frequency. The hydroxyl group, which participates in the intermolecular hydrogen bond, is characterized by a broad intense absorption maximum in the region of $3200\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$.

The νOH band of valence vibrations is narrower and more intense, lying at 3409 cm^{-1} in the spectrum of the modified starch sample, and, this band is wider and less intense, lying at 3389 cm^{-1} in the spectrum of native starch. This fact confirms that there are fewer hydrogen bonds in the modified starch, which is explained by the smaller number of free hydroxyl groups, which affected the nature and frequency of νOH oscillations of acylated potato starch.

Elemental analysis.

The elemental analysis obtained results of acylated potato starch with acetylsalicylic acid chloride are as follows: Carbon — 48.59%, Hydrogen — 5.80% were found. The calculated amount of Carbon is 48.48%, Hydrogen is 5.72%.

The IR spectra and elemental analysis results show acylation of starch occurred due to the addition of a salicylic acid residue to glucopyranose chains of starch in the ratio of acetylsalicylic acid chloride one molecule and three residues of glucopyranose rings. According to (Chi, 2008; Shulga, 2018), the primary alcohol and hydroxyl groups at C_2 are most easily acetylated. Taking into account the possible spatial hindrances in the second position, the authors preferred acylation of the primary alcohol group.

NMR research.

During the starch modification reaction with acetylsalicylic acid chloride, deacylation of acetylsalicylic acid occurred, since the NMR spectrum of the modified starch lacks the methyl group signal, which is part of the acyl group. In addition, a signal appeared in the spectrum at 9.6 ppm, which is characteristic of phenolic hydroxyl.

X-ray phase research.

To find out the degree of esterification process influence on the structure crystallinity of etherified potato starch, the X-ray phase analysis method was used. The diffractograms are shown in Figure 4.

According to the potato starch diffractogram (Figure 4), it was calculated the starch before esterification has an amorphous-crystalline structure with a crystallinity degree of 12%, while the modified potato starch has a crystallinity degree of 3%.

Therefore, the chemical modification of starch leads to the crystalline structure destruction, which was also observed by the authors (Nep, 2016) during the study of the rheological and structural properties of modified starches from young shoots of *Borassus aethiopicum*.

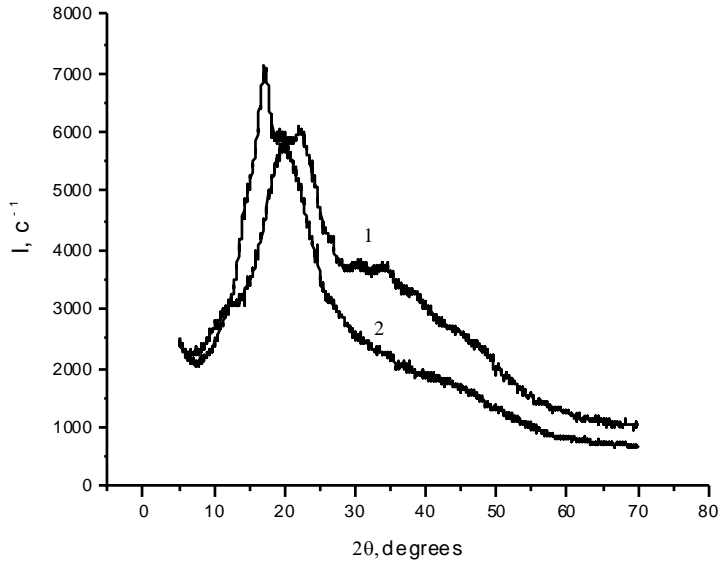


Figure 4. X-ray diffraction results of original native potato starch (1) and its esterified derivative (2) ($n=3, p \leq 0,05$)

Optical microscopy results.

Using the optical microscopy method, it was found that during the acylation of native potato starch with acetylsalicylic acid chloride, significant changes occurred in the appearance of native starch. The rounded native starch grains were destroyed during the modification, which is clearly visible in the comparative analysis of the microphotographs (Figure 5).

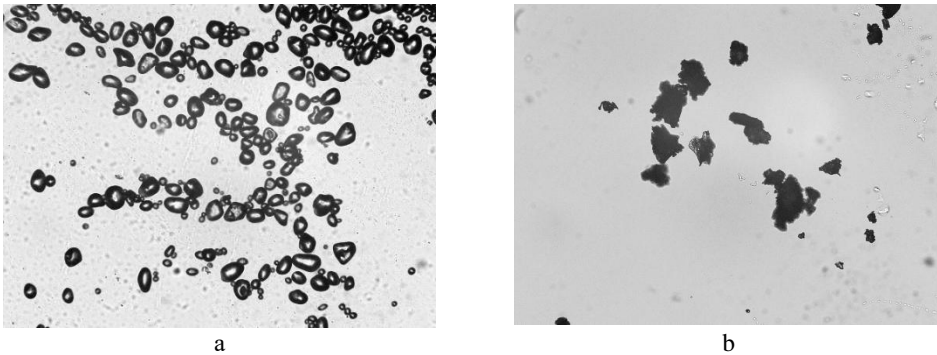


Figure 5. Appearance of native potato (a) and esterified starches (b) under a microscope ($\times 400$) ($n=3, p \leq 0,05$)

Thermogravimetric research.

The results of thermogravimetric research show the chemically modified starch differs from the original native potato starch in its water retention characteristics.

There are four segments of mass loss: the 1st at temperatures of 63—140 °C is 3.7% on the TG curve of a native potato starch sample (Figure 6, a). The mass loss is caused by

the separation of adsorbed water (up to 100 °C) and crystallization water (100—135 °C). On the DTG curve of a sample of native potato starch (Figure 6, a), the given loss corresponds to a blurred effect of mass loss with a minimum at a temperature of 110 °C, which should be considered as an overlap of two separate effects associated with moisture removal. The second segment of mass loss corresponds to the temperature interval of 300—380 °C and is 57.3%. On the DTG curve, this process corresponds to a sharp and deep mass loss effect with a minimum at a temperature of 330 °C, which is caused by the thermal decomposition of polysaccharide.

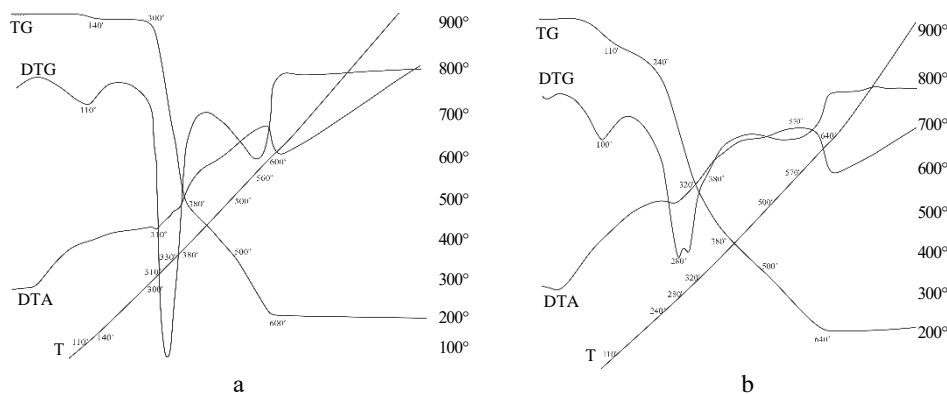


Figure 6. The derivatograms of native potato (a) and esterified starch (b) ($n=3, p \leq 0,05$)

In the third segment, mass loss occurs at a temperature of 380—500 °C and is 14.5% of the initial mass. In this temperature range, carbonization of previously formed intermediate products of thermolysis occurs up to 380 °C. On the fourth segment of the TG curve, the mass loss $\Delta m_4=17.5\%$. This stage is caused by complete thermal decomposition and charring of starch at a temperature of 600 °C. The coke residue of this sample is 5.7% after heating to 950 °C.

Six segments can be distinguished on the TG curve of a esterified potato starch sample (Figure 6, b): 1st — 30—100 °C, associated with the release of adsorbed water $\Delta m_1 < 7.5\%$. The mass loss at temperatures of 110—240 °C is a consequence of the separation of crystallization water, $\Delta m_2=6.23\%$. In the third temperature interval of 240—280 °C and the fourth 280—320 °C $\Delta m_3=36.20\%$, the process of anhydrous substance thermal decomposition takes place, which depends on the chemical composition of the reaserch sample. The fifth temperature interval of 380—500 °C with $\Delta m_5=13.75\%$ is the charring result. The sixth temperature interval of 500—640 °C corresponds to the further decomposition of previously formed charred products., The mass of the modified starch sample does not change above 640 °C. The coke residue is 6.23% after heating to 900 °C.

Thus, the conducted thermogravimetric research confirm the difference in the chemical structure and properties of the original native starch and its esterified derivative. So, the modification has been successfully carried out. The established changes will also determine the starch gelatinization parameters and the water solubility of the modification starch.

Conclusions

The native potato starch modification with acetylsalicylic acid chloride was confirmed by elemental analysis, IR spectra, X-ray phase analysis, thermogravimetric and microscopic reaserches.

A band at 1716 cm^{-1} appeared in the spectrum of esterified starch after acylation, which is characteristic of C=O in the ester group composition.

The potato starch acylation leads to a decrease in the crystalline phase from 12 to 3%.

There is no signal of the methyl group, which is part of acyl in the NMR modified starch spectrum, and a signal appeared at 9.6 ppm, which is characteristic of phenolic hydroxyl.

The starch modification with acetylsalicylic acid changes the water retention and changes the appearance of the native starch.

References

- Дідик, Н. П., Росіцька, Н. В., & Бербеничук, Л. Д. (2011). Вплив рутину, аскорбінової та саліцилової кислот на функціональний стан рослин пшениці в умовах посухи. *Фізіологія і біохімія культ. рослин*, 43(5), 453—458.
- Шульга, О. (2019). *Наукове обґрунтування та розроблення технології біодеградабельного істівного покриття для кондитерських і хлібобулочних виробів*. (Дис. д-ра техн. наук). Національний університет харчових технологій, Київ.
- Al-Adeemy, S. A., Alsheikh, M., & Aouak, T. (2014). Modification of starch by grafting acetylsalicylic acid: Synthesis, characterization, and application in drug release domain. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 63(14), 716—725. <https://doi.org/10.1080/00914037.2013.869744>.
- Bhosale, R. G., Singhal, R. S. (2006). Process optimization for the synthesis of octenyl succinyl derivative of waxy corn and amaranth starches. *Carbohydrate Polymers*, 66(4), 521—527. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.04.007>.
- Chung, C., Lee, M., & Choe, E. K. (2004). Characterization of cotton fabric scouring by FT-IR ATR spectroscopy. *Carbohydrate Polymers*, 58(4), 417—420.
- Díaz-Díaz, E. D. et al. (2023). Assessment of the enhancement potential of salicylic acid on physicochemical, mechanical, barrier, and biodegradability features of potato starch films. *Food Packaging and Shelf Life*, 38, 101108. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101108>.
- Fang, Y. et al. (2020). Mechanical properties and antibacterial activities of novel starch-based composite films incorporated with salicylic acid. *International Journal of biological macromolecules*, 155, 1350—1358. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.11>.
- Guo, J., Shi, L., & Kong, L. (2023). Structure-digestibility relationship of starch inclusion complex with salicylic acid. *Carbohydrate Polymers*, 299, 120147. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120147>.
- Hong, L. F. et al. (2015). Characterisation of Physicochemical Properties of Propionylated Corn Starch and Its Application as Stabiliser. *Food technology and biotechnology*, 53(3), 278—285. <https://doi.org/10.17113/ft.b.53.03.15.3907>.
- Chi, H. et al. (2008). Effect of acetylation on the properties of com starch. *Food Chemistry*, 106(3), 923—928. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.002>.
- Junistia, L. et al. (2008). Synthesis of higer fatty acid starch esters using vinyl laurate and stearate as reactants. *Starch-Starke*, 60(12), 667—675. <https://doi.org/10.1002/star.200800025>.
- Kavulych, Y. et al. (2023). Stress-protective and regulatory properties of salicylic acid and prospects of its use in plant production. *Studia Biologica*, 17(2), 173—200. <https://doi.org/10.30970/sbi.1702.718>.

Namazi, H., & Dadkhah, A. (2010). Convenient method for preparation of hydrophobically modified starch nanocrystals with using fatty acids. *Carbohydrate Polymers*, 79(3), 731—737.

Namazi, H., Fathi, F., Dadkhah, A. (2011). Hydrophobically modified starch using long-chain fatty acids for preparation of nanosized starch particles. *Scientia Iranica*, 18(3), 439—445. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2011.05.006>.

Nep, E. I. et al. (2016). Rheological and structural properties of modified starches from the young shoots of *Borassus aethiopicum*. *Food Hydrocolloids*, 60, 265—270. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.02.03>.

Prime, R. B., Bair, H. E., Vyazovkin, S., Gallagher, P. K., & Riga, A. (2009). Thermogravimetric analysis (TGA), *Thermal analysis of polymers: Fundamentals and applications*, 241—317.

Rudrapatnam, N. Tharanathan. (2005). Starch — value addition by modification. *Critical reviews in food science and nutrition*, 45(5), 371—384. <https://doi.org/10.1080/10408390590967702>.

Santacruz Terán, S. (2021). Edible coatings based on cassava starch, salicylic acid and essential oils for preservation of fresh-cut mango. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(1), 9461—9469.

Shulga, O. et al. (2018). Modification of Potato Starch by Acetylmalic Acid Chloroanhydride and Physicochemical Research of the New Product *International Journal of Polymer Science*, 2, 1—7. <https://doi.org/10.1155/2018/7253656>.

Shulga, S., Shulga, O., Simurova, N. (2021). Modification of potato starch with adipic acid and research of modification product as raw materials for food biodegradable packaging. *Ukrainian Food Journal*, 10(3), 564—576.

Suart, B. *Infrared Spectroscopy: Fundamental and Applications*. 2004.

Terán, S. S., & Hurel, J. C. (2022). Salicylic acid, cinnamaldehyde, and thymol incorporated into cassava starch coatings for mango preservation. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 75(3), 10119—10124.

Thompson, J. M. (2018). *Infrared spectroscopy*. Jenny Stanford Publishing. <https://doi.org/10.1201/9781351206037>.

RESEARCH OF THE EFFECT OF HOMOGENIZATION OF MILK MIXTURES ON THE FORMATION OF PHYSICO-CHEMICAL INDICATORS OF YOGURT WITH STARCH PRODUCTS

O. Ivashchenko, N. Breus

National University of Food Technologies

Key words:

Yogurt
Maltodextrin
Glucose syrup
Homogenization
Degree of syneresis
Fermentation

Article history:

Received 12.09.2024
Received in revised form
27.09.2024
Accepted 14.10.2024

Corresponding author:

O. Ivashchenko

E-mail:

olivasha25@gmail.com

Citation: Іващенко О. М., Бреус Н. М. (2024). Дослідження впливу гомогенізації молочних сумішей на формування фізико-хімічних показників йогурту з крохмалепродуктами. *Наукові праці НУХТ*, 30(5), 142—151.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-12

ABSTRACT

Homogenization of dairy mixtures in low-fat yogurt production is not a mandatory technological operation; however, it is often applied to improve the consumer properties of fermented beverages. When maltodextrin (dextrose equivalent 10) and glucose syrup (dextrose equivalent 40) are used in yogurt as structuring agents, sweetening ingredients, and sources of non-fat dry substances, it is appropriate to study the effectiveness of homogenization in the technology of this beverage.

In the MathCad 15 software, 3D graphic models were obtained and optimal pressure and temperature ranges for the homogenization process of dairy mixtures with dry glucose syrup and dry maltodextrin at 9% quantities (which completely replace sugar and dry milk in yogurt) were established. The degree of yogurt syneresis, which should not exceed 10 cm³, was used as a criterion for the effectiveness of the homogenization process.

Low technological efficiency of homogenization of dairy mixtures with dry starch products was found, particularly with increased pressure (more than 10—15 MPa) and temperature (more than 40—50 °C). This can be explained by partial mechanical destruction of high-molecular residues of enzymatic hydrolysis of starch. This assumption is indirectly confirmed by the activation of lactic acid bacteria in homogenized mixtures with dry starch products under excessive regimes compared to non-homogenized mixtures. Therefore, considering the high energy consumption of homogenization and its low efficiency, this technological operation is impractical for the production of yogurt containing starch products with low and medium dextrose equivalent. At the same time, it is advisable to continue studying the impact of homogenization on mixtures with glucose-fructose syrup to develop a system of recommendations regarding the use of starch products with different carbohydrate compositions in fermented dairy beverages.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОЧНИХ СУМІШЕЙ НА ФОРМУВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЙОГУРТУ З КРОХМАЛЕПРОДУКТАМИ

О. М. Івашенко, Н. М. Бреус

Національний університет харчових технологій

Гомогенізація молочних сумішей у виробництві йогурту низької жирності не є обов'язковою технологічною операцією, однак часто застосовується для покращення споживчих властивостей ферментованих напоїв. У разі використання в складі йогурту мальтодекстрину (декстрозний еквівалент 10) і глюкозного сиропу (декстрозний еквівалент 40) як структуруючих, підсолоджуючих інгредієнтів і джерела сухих знежирених речовин доцільним є вивчення ефективності гомогенізації в технології цього напою.

У середовищі математичного пакета MathCad 15 одержано графічні 3D моделі і встановлено оптимальні діапазони значень тиску і температури процесу гомогенізації молочних сумішей із сухим глюкозним сиропом і сухим мальтодекстрином у кількостях 9%, що є повною заміною цукру і сухого молока в складі йогурту. Як критерій ефективності процесу гомогенізації приймали ступінь синерезису йогурту, який не повинен перевищувати 10 см³.

Установлено низьку технологічну ефективність гомогенізації молочних сумішей з сухими крохмалепродуктами, зокрема за підвищення тиску (більше 10–15 МПа) і температури (більше 40–50 °С), що можна пояснити частковою механічною деструкцією високомолекулярних залишків ферментативного гідролізу крохмалю. Вказане припущення опосередковано підтверджується активізацією молочнокислих бактерій у гомогенізованих за перевищених режимів сумішах із сухими крохмалепродуктами, порівняно з негомогенізованою сумішшю. Зважаючи на високу енергоємність гомогенізації та її низьку ефективність, вказана технологічна операція є недоцільною для виробництва йогурту, що містить крохмалепродукти з низьким і середнім декстрозним еквівалентом. Одночас доцільним є продовження дослідження впливу гомогенізації на суміші з глюкозно-фруктозним сиропом для розроблення системи рекомендацій щодо особливостей застосування крохмалепродуктів з різним вуглеводним складом у ферментованих молочних напоях.

Ключові слова: йогурт, мальтодекстрин, глюкозний сироп, гомогенізація, ступінь синерезису, ферментація.

Постановка проблеми. У сучасному світі зростає попит на функціональні продукти харчування, які мають не тільки добрі смакові якості, але й приносять користь для здоров'я. Виробники харчових продуктів десертного призначення все частіше застосовують у їх складі універсальні за функціонально-технологічними властивостями крохмалепродукти (Ünlü, & Soysal, 2017), які одержують шляхом ферментативного і кислотного гідролізу крохмалю (Eke-Ejiofor, 2015; Nikolić et al., 2023). Щороку ці інгредієнти стають все більш популярними і серед виробників молочних продуктів десертного призначення (Polischuk, Sharahmatova, Breus, Bass, & Shevchenko, 2019; Zargaraan, Kamaliroosta, Yaghoubi, & Mirmoghtadaie,

2016). У той же час практично не досліджено вплив окремих технологічних операцій при виробництві молочних продуктів з патоками/сиропами і мальтодекстринами, які, зокрема у складі йогурту відіграють роль загущувачів, вологозв'язувальних і підсолоджуючих інгредієнтів (Івашенко, & Поліщук, 2022).

Йогурти з додаванням продуктів гідролізу крохмалю можуть відповідати вимогам споживачів, що шукають продукти з низьким вмістом цукру, стабільною текстурою та збалансованим складом. Окрім цього, застосування таких крохмалепродуктів може бути економічно вигіднішим порівняно з іншими підсолоджувачами чи стабілізаторами, що дає змогу знизити собівартість готового продукту. Ці фактори роблять дослідження в цьому напрямку перспективним і важливим для розвитку харчової промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технологічний процес виробництва йогурту передбачає такі технологічні операції: нормалізацію, гомогенізацію, пастеризацію та ферментацію молочних сумішей, охолодження та зберігання йогурту. Умови і режими проведення перелічених операцій є загальноприйнятими, залежно від виду йогурту, складу заквашувальних препаратів і наявного обладнання.

Зазвичай, у технології йогуртів молочні нормалізовані суміші гомогенізують за тиску 10—20 МПа на першому ступені і 4—5 МПа на другому ступені в температурному діапазоні від 55 до 65 °С. Результатом гомогенізації є збільшення поверхні контакту фаз «жир/плазма», що супроводжується адсорбцією молочних білків на новоутвореній поверхні з відповідним підвищенням в'язкості та вологоутримуючої здатності йогурту. Водночас ферментовані білкові гелі є динамічними системами, схильними до структурних перебудов, які формуються за допомогою поперечних зв'язків між міцелами казеїну, створених нанокластерами фосфату кальцію, а також ковалентних дисульфідних перехресних зв'язків між казеїнами та денатурованими сироватковими білками (Lee1, & Lucey, 2010). Зазвичай, при виробництві нежирних йогуртів гомогенізацію не застосовують, хоча у зарубіжних практиках гомогенізації піддають також і нежирні та низькожирні суміші для покращання консистенції та вологоутримуючої здатності кисломолочних напоїв, виготовлених саме резервуарним способом. (Ciron, Gee, Kelly, & Auty, 2010). Окрім загальноприйнятих режимів гомогенізації доведено, що надвисокий тиск гомогенізації молока на рівні 50—200 МПа суттєво покращує консистенцію та загальну сприйнятність йогурту, а також активує молочнокислі бактерії, що скорочує тривалість ферментації (Betül Gül, & Akgün, 2023). Serra et al. (2009) доведено доцільність застосування надвисокого тиску гомогенізації при 200—300 МПа, що призводить до збільшення міцності згустку йогурту та його вологоутримуючої здатності за рахунок додаткової денатурації сироваткових протеїнів і часткового руйнування міцел казеїну. Зазначений напрям досліджень є надзвичайно перспективним, однак вітчизняні молокопереробні підприємства не оснащені гомогенізаторами, які здатні створювати надвисокий тиск. Тому було поставлено завдання дослідити вплив стандартних режимів гомогенізації (тиск в діапазоні від 5 до 25 МПа, температура — від 40 до 80 °С) нових за хімічним складом низькожирних молочних сумішей (м. ч. ж. 1%) з крохмалепродуктами різного ступеня ферментативної деструкції макромолекул крохмалю за допомогою двоступеневого гомогенізатора клапанного типу. Тиск може позитивно або негативно впливати на структуру та вологозв'язувальну здатність не тільки білко-

вого гелю йогурту, але й наявних у ньому крохмалепродуктів, що становить певний науковий інтерес.

Мета дослідження: виявлення впливу гомогенізації за змінних тиску і температури на перебіг процесу ферментації молочних сумішей, а також на синеретичну здатність йогурту.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- одержати математичні моделі залежності ступеня синерезису йогурту з крохмалепродуктами від змінних параметрів процесу гомогенізації молочних сумішей;
- виявити можливий вплив гомогенізації молочних сумішей з крохмалепродуктами на характер молочнокислого бродіння під час їх ферментації.

Матеріали і методи. Відповідно до одержаних результатів (Іващенко, & Поліщук, 2023) для проведення дослідження було обрано продукти ферментативного гідролізу кукурудзяного крохмалу — сухий мальтодекстрин марки MD-10 і сухий глюкозний сироп (СГС) (ПрАО «Інтеркорн Корн Процесінг Індустрі», Україна).

Зразки йогурту жирністю 1% готували ферментацією нормалізованих молочних сумішей за допомогою активізованої закваски на чистих культурах молочнокислих мікроорганізмів *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii*ssp. *Bulgaricus* (ТМ «Іпровіт» Інститут продовольчих ресурсів НААН, Україна).

Рецептурні інгредієнти вносили у нормалізоване молоко, одержані суміші пастеризували при температурі 87 ± 2 °С впродовж 2—3 хв, охолоджували до температури 41 ± 1 °С, ферментували до значень активної кислотності 4,8 од. рН. Досліджували динаміку ферментації контрольного і досліджуваних зразків. Після чого йогурт охолоджували до температури 4 ± 2 °С, витримували не менше доби і визначали характеристики продукту.

Контрольний зразок містив 4% сухого знежиреного молока і 5% цукру. Вибір 5% цукру в контрольному зразку йогурту обумовлений тим, що тенденція до помірної вмісту цукру в харчових продуктах стає все більш актуальною не лише в Україні, але й у всьому світі (Moore et al., 2018). Відповідно до ДСТУ 4343:2004 «Йогурт. Загальні технічні умови», мінімально можливий вміст цукру має становити не менше 5%, що й було враховано у цьому дослідженні. Кількість доданого до йогурту сухого знежиреного молока може коливатися у межах від 1 до 6% від кількості вихідного молока, але, зазвичай, цей діапазон звужують до 3—4% для запобігання появи специфічного присмаку сухого молока. Тому як базовий вміст СЗМ у контрольних зразках йогурту було обрано 4%. У зразках йогурту 1 і 2 цукор і знежирене молоко повністю замінювали на еквівалентний вміст сухих крохмалепродуктів.

Прийнято такі позначення зразків йогурту:

- контрольний зразок (йогурт, що містить 4% СЗМ і 5% цукру);
- зразок 1 (йогурт, що містить 9% сухого глюкозного сиропу);
- зразок 2 (йогурт, що містить 9% сухого мальтодекстрину марки MD-10).

Активну кислотність визначали потенціометричним методом за допомогою лабораторного вимірювача pH/MV/ISE/Temp ADWA AD1200 ATC.

Синерезис зразків йогуртів визначали центрифугуванням зразків йогурту. Для цього 25 см³ йогурту після перемішування в каліброваній пробірці центрифугували з використанням лабораторної центрифуги Sigma 2-6E (Німеччина) протягом 20 хв при 1000 об/хв і температурі 20 °С та вимірювали об'єм відділеної сироватки, який виражали в см³ на 100 г продукту (Polischuk et al., 2020).

Для оптимізації функцій відгуку з метою розробки рекомендацій щодо визначення режимів гомогенізації молочних сумішей використано методологію поверхні відгуку за допомогою графічних 3D моделей у середовищі математичного пакета MathCad 15. Для цього було створено відповідні матриці з розрахованими значеннями ступеня синерезису за різного співвідношення між змінними параметрами температури і тиску. Існуючі моделі оптимізації рецептур зводили до завдання регресійного аналізу експериментальних даних методом багатовимірної апроксимації.

Для одержання математичних моделей були обрані такі незалежні змінні технологічні параметри процесу гомогенізації:

- тиск на першому ступені складав 5, 10, 15, 20, 25 МПа. Тиск на другому ступені не задавали, оскільки його доцільно застосовувати лише для молочних сумішей жирністю вище 2,5% з метою запобігання агломерації новоутворених після першого ступеня жирових кульок;

- температура — 40, 50, 60, 70, 80 °С.

За функцію відгуку, за якою було оптимізовано режими гомогенізації, обрано ступінь синерезису, який не повинен перевищувати 10 см³.

Усі результати за 3—5-кратної повторності і заданої довірчої ймовірності $P \geq 0,95$ були статистично оброблені за допомогою програми Statistika 10. Побудову діаграм здійснено у Microsoft Excel 2016.

Викладення основних результатів дослідження. Для визначення оптимальних режимів гомогенізації молочних сумішей з крохмалепродуктами незалежними чинниками, якими варіювали, обрано температуру (x) в діапазоні від 40 °С до 80 °С та тиск (y) в діапазоні від 0 МПа до 25 МПа.

У загальному вигляді функція відгуку описується таким поліномом:

$$\hat{y}(x, b) = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{k=1}^n b_k x_k^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n b_{ij} x_i x_j, \quad (1)$$

де $x \in R^n$ — вектор змінних, b — вектор параметрів.

Для визначення ступеня синерезису в контрольному зразку йогурту (цукор+СЗМ) рівняння регресії має вигляд:

$$Y_1 = 4,548 - 0,12x + 0,01x^2 - 0,063y + 0,0006y^2 + 0,004xy, \quad (2)$$

де Y_1 — ступінь синерезису, см³ у йогурті (контрольний зразок); x — температура, °С; y — тиск, МПа.

Для визначення ступеня синерезису в йогурті із сухим глюкозним сиропом (зразок 1) рівняння регресії має вигляд:

$$Y_2 = 2,763 - 0,045x + 0,01x^2 - 0,028y + 0,0004y^2 + 0,008xy, \quad (3)$$

де Y_2 — ступінь синерезису, см³ у йогурті з глюкозним сиропом (зразок 1); x — температура, °С; y — тиск, МПа.

Для визначення ступеня синерезису в йогурті з мальтодекстрином MD-10 (зразок 2) рівняння регресії має вигляд:

$$Y_3 = 0,018 + 0,345x + 0,0001x^2 + 0,049y - 0,0002y^2 + 0,009xy, \quad (4)$$

де Y_3 — ступінь синерезису, см³ у йогурті MD-10; x — температура, °С; y — тиск, МПа.

Для перевірки адекватності отриманих моделей (2), (3) та (4) було проведено обчислення середньоквадратичного відхилення як квадратного кореня з дисперсії за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}}, \quad (5)$$

де \hat{y}_i — значення, розраховані за допомогою регресійного рівняння; y_i — значення експериментальних даних. Відповідно до формули (5) їх значення складає: $\sigma_{Y_1} = 0,21 \text{ см}^3$, $\sigma_{Y_1} = 0,2 \text{ см}^3$ та $\sigma_{Y_1} = 0,3 \text{ см}^3$.

На рис. 1—3 наведені графічні залежності ступеня синерезису від варійованих параметрів — температури й тиску гомогенізації сумішей з крохмалепродуктами. Зони значень варійованих параметрів, за яких спостерігалось перевищення рекомендованих значень ступеня синерезису в досліджуваних зразках йогурту і яких варто уникати, позначені на нижніх площинах рисунків.

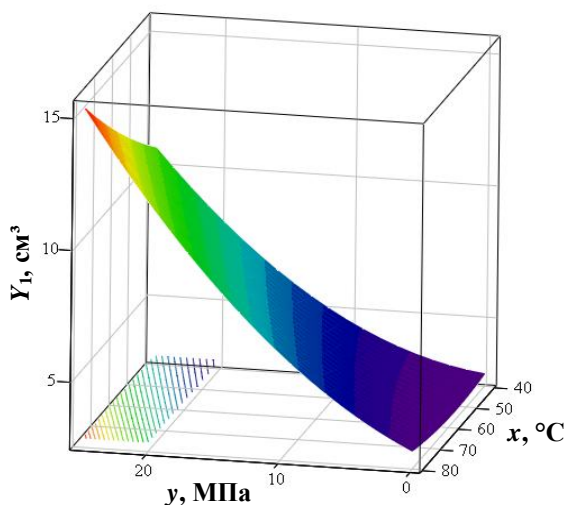


Рис. 1. Графічна залежність ступеня синерезису (Y_1) в контрольному йогурту зразку від температури (x) і тиску (y) гомогенізації

Відповідно до результатів моделювання (рис. 1—3) встановлено оптимальні діапазони режимів гомогенізації для контрольного і досліджуваних зразків:

- контрольний зразок: тиск 5—15 МПа за температури 40—80 °С; тиск 20 МПа за температури 40—60 °С;
- зразок 1: тиск 5—10 МПа за температури 40—80 °С, тиск 15 МПа за температури 40—50 °С;
- зразок 2: тиск 5 МПа за температури 40—80 °С, тиск 10 МПа за температури 40 °С.

Отже, можна зробити висновок, що гомогенізація молочних сумішей за перевищення встановлених діапазонів значень тиску і температури дещо знижує функціонально-технологічну активність глюкозного сиропу у складі йогурту. Що стосується мальтодекстрину, то можна відмітити, що гомогенізація доволі суттєво погіршує вплив цього крохмалепродукту на можливість синерезису в йогурті, навіть за низьких тиску і температури.

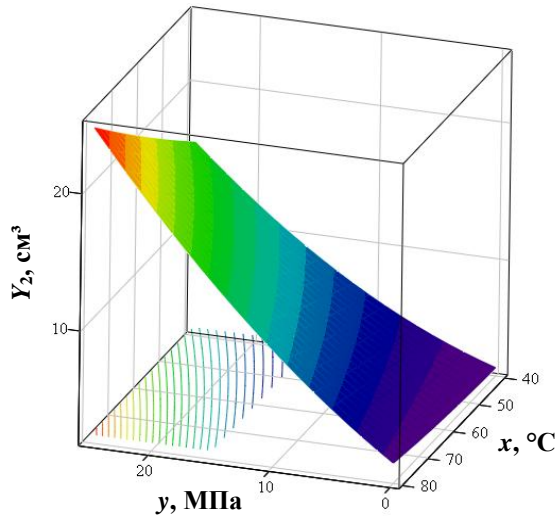


Рис. 2. Графічна залежність ступеня синерезису (Y_2) в йогурті із сухим глюкозним сиропом (зразок 1) від температури (x) і тиску (y) гомогенізації

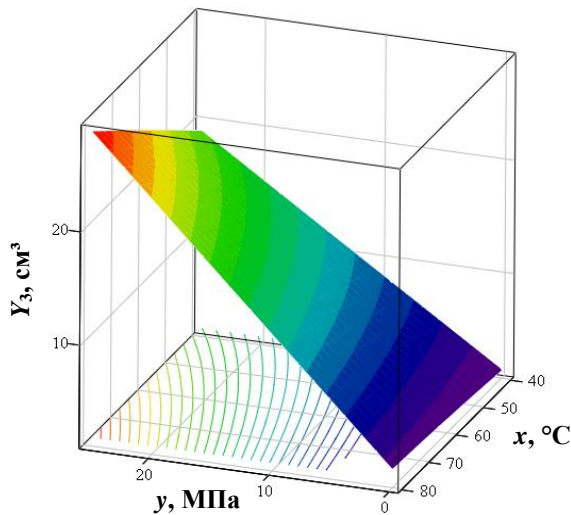


Рис. 3. Графічна залежність ступеня синерезису (Y_3) в йогурті з мальтодекстрином (зразок 2) від температури (x) і тиску (y) гомогенізації

Ймовірно, встановлений ефект відбувається внаслідок механічного руйнування макромолекул декстринів у складі обох крохмалепродуктів за тиску вище 10 МПа (для мальтодекструну) і вище 15 МПа (для глюкозного сиропу). Залишки доволі нестійких після часткового ферментолізу макромолекул крохмалю, механічно подрібнені за перевищення вказаних діапазонів, частково втрачають здатність брати участь в утримуванні вологи у складі композиційних білково-вуглеводних згустків йогурту. На зменшення розмірів часточок мальто-

декстрину з декстрозним еквівалентом 10 внаслідок високого тиску гомогенізації також вказували у (Osampo-Salinas et al., 2017). Інші науковці звертали увагу на певну деструктивну дію високого тиску (60—140 МПа) на нативний крохмаль, що призводило до желатинізації та агрегування гранул крохмалю (Wang et al., 2008). У нашому випадку тиск був значно меншим, але температура оброблення і попередня часткова ферментація крохмалю, ймовірно, відіграли значну роль у перебудові його макромолекул.

Для опосередкованого виявлення впливу гомогенізації на функціонально-технологічні властивості мальтодекстрину і глюкозного сиропу додатково було досліджено динаміку зміни активної кислотності контрольного і досліджуваних зразків ферментованих гомогенізованих молочних сумішей з крохмалепродуктами (рис. 5), порівняно зі зразками, які не піддавали гомогенізації (рис. 4). Для всіх зразків режими гомогенізації були прийняті за межами рекомендованих діапазонів (25 МПа, 80 °С) для виявлення ймовірного впливу найбільш жорстких умов механічного оброблення на фізико-хімічні характеристики крохмалепродуктів.

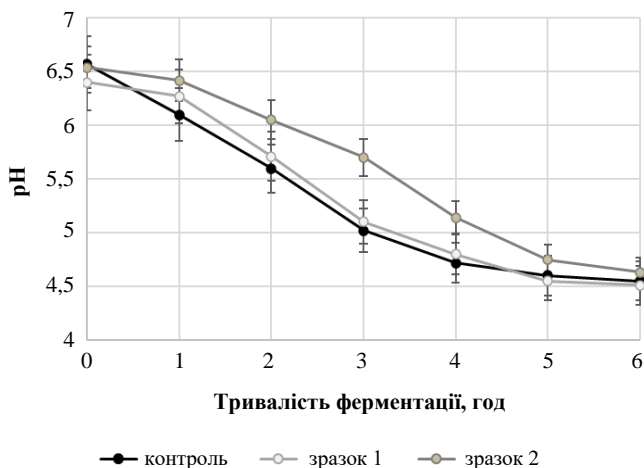


Рис. 4. Динаміка зміни активної кислотності негомогенізованих молочних сумішей з крохмалепродуктами впродовж ферментації

Відповідно до рис. 4—5, гомогенізація майже не вплинула на характер молочнокислого бродіння контрольного зразка. Що стосується досліджуваних зразків, то очевидною є певна активізація життєдіяльності молочнокислих бактерій, яка призводить до пришвидшення процесу ферментації. Це можна пояснити збільшенням кількості легкодоступних вуглеводів як джерел азоту (Abedi, & Hashemi, 2020) у ферментованих системах за рахунок часткового розкладання декстринів під дією високих температури і тиску.

Отже, зважаючи на високу енергоємність технологічної операції «гомогенізація», зниження технологічної ефективності крохмалепродуктів з низьким декстрозним еквівалентом внаслідок часткової механічної деструкції, а також виявлені доволі вузькі діапазони тиску й температури, які забезпечують високу здатність йогурту утримувати вологу, доцільним є виключення з технологічної схеми цієї технологічної операції.

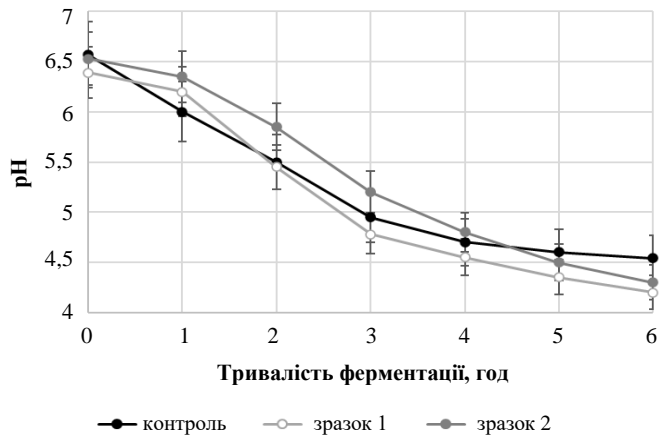


Рис. 5. Динаміка зміни активної кислотності гомогенізованих молочних сумішей з крохмалепродуктами впродовж ферментації

Що стосується застосування гомогенізації для молочних сумішей жирністю вище 2,5% в присутності низькомолекулярних солодких вуглеводів, зокрема глюкозно-фруктозного сиропу, то це питання потребує подальшого дослідження для комплексного узагальнення і розробки рекомендацій щодо особливостей застосування крохмалепродуктів з різним декстрозним еквівалентом у складі молочних продуктів десертного призначення.

Висновки

Відповідно до результатів моделювання процесу гомогенізації встановлено оптимальні діапазони значень тиску і температури для зразків молочних сумішей з 9% сухого глюкозного сиропу (декстрозний еквівалент 40) і з 9% сухого мальтодекстрину (декстрозний еквівалент 10), за яких ступінь синерезису йогурту не перевищує 10 см³. Зважаючи на низьку технологічну ефективність гомогенізації, особливо за підвищення тиску (більше 10—15 МПа) і температури (більше 40–50°C), а також її високу енергоємність, прийняте рішення про виключення з технологічної схеми виробництва йогурту з крохмалепродуктами цієї операції.

За результатами аналізу динаміки зміни активної кислотності гомогенізованих молочних сумішей з крохмалепродуктами під час ферментації опосередковано доведено, що за перевищення встановлених меж тиску і температури спостерігається активізація молочнокислих бактерій внаслідок підвищення вмісту низькомолекулярних вуглеводів за ймовірної часткової механічної деструкції високомолекулярних залишків ферментативного гідролізу крохмалю.

Перспективою подальших досліджень є вивчення ефективності застосування гомогенізації в технології йогурту з глюкозно-фруктозним сиропом (декстрозний еквівалент 98) для розроблення системи рекомендацій щодо особливостей застосування крохмалепродуктів з різним вуглеводним складом у ферментованих молочних напоях.

Література

- Abedi, E., & Hashemi, S. M. B. (2020). Lactic acid production—producing microorganisms and substrates sources-state of art. *Heliyon*, 6(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04974>.
- Ciron, C. I. E., Gee, V. L., Kelly, A. L., & Auty, M. A. E. (2010). Comparison of the effects of high-pressure microfluidization and conventional homogenization of milk on particle size, water retention and texture of non-fat and low-fat yoghurts. *International Dairy Journal*, 20(5), 314—320. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.11.018>.
- Eke-Ejiofor, J. (2015). Functional properties of starches, physico-chemical and rheological properties of glucose syrup made from cassava and different potato varieties. *International Journal of Recent Scientific Research*, 6(6), 4400—4406. DOI: 10.24327/IJRSR.
- Latife Betül Gül, & Abdullah Akgün (2023). Effect of High-Pressure Homogenization and Fat Content on Yogurt Fermentation Process. *International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research*, 7(4), 455—468. <https://doi.org/10.29329/ijiaar.2023.630.7>.
- Lee, W. J., & Lucey, J. A. (2010). Formation and physical properties of yogurt. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 23(9), 1127—1136. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.r.05>.
- Moore, J. B., Horti, A., & Fielding, B. A. (2018). Evaluation of the nutrient content of yogurts: a comprehensive survey of yogurt products in the major UK supermarkets. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-021387>.
- Nikolić, I., Petrović, J., Pajin, B., Lončarević, I., Šubarić, D., Ačkar, Đ., Miličević, B., Šereš, Z., Dokić, L., Šoronja-Simović, D., & Jozinović, A. (2023). The Influence of Starch Sweeteners on Functional Properties of Cellulose Fat Mimetics: Rheological and Textural Aspects. *Polymers*, 15(14), 2982. <https://doi.org/10.3390/polym15142982>.
- Ocampo-Salinas, I. O. & Jiménez-Aparicio, Antonio & Perea-Flores, M. J. & Tapia Ochoategui, Adriana Patricia & Salgado-Cruz, M. P. & Jimenez Martinez, Cristian & Tellez-Medina, D. I. & Dávila Ortiz, Gloria. (2017). High-presure homogenization and maltodextrins mixtures to microencapsulate vanilla (*Vanilla planifolia*) extract through freeze-drying. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16, 131—146. <http://dx.doi.org/10.24275/rmiq/Alim759>.
- Polischuk, G., Breus, N., Kochubey-Litvinenko, O., Osmak, T., Semko, T., & Borova, M. (2020). Study of the influence of micellar casein and spelt flour on yoghurt quality indicators. *EUREKA: Life Sciences*, (4), 44—52. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2020.001378>.
- Polischuk, G., Sharahmatova, T., Breus, N., Bass, O., & Shevchenko, I. (2019). Studies of water freezing features in ice cream with starch syrup. *Food Science and Technology*, 13(2). <https://doi.org/10.15673/fst.v13i2.1383>.
- Serra, M., Trujillo, A. J., Guamis, B., & Ferragut, V. (2009). Proteolysis of yogurts made from ultra-high-pressure homogenized milk during cold storage. *Journal of dairy science*, 92(1), 71—78. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1416>.
- Wang, B., Li, D., Wang, L. J., Chiu, Y. L., Chen, X. D., & Mao, Z. H. (2008). Effect of high-pressure homogenization on the structure and thermal properties of maize starch. *Journal of Food Engineering*, 87(3), 436—444. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.12.027>.
- Zargaraan, A., Kamaliroosta, L., Yaghoubi, A. S., & Mirmoghtadaie, L. (2016). Effect of substitution of sugar by high fructose corn syrup on the physicochemical properties of bakery and dairy products: a review. *Nutrition and Food Sciences Research*, 3(4), 3—11. <https://doi.org/10.18869/acadpub.nfsr.3.4.3>
- Ünlü, E., & Soysal, Ç. (2017). Starch based sugar; production, usage and health effect. *Eurasian Journal of Food Science And Technology*, 1(1), 38—42. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ejfst/issue/37391/432476>.
- Іващенко, О. М., & Поліщук, Г. Є. (2022). Вивчення функціонально-технологічних властивостей крохмальної патоки у складі йогурту. *Харчова промисловість*, 31—32, 43—53. DOI: 10.24263/2225-2916-2022-31-32-7. <https://dSPACE.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/40939>.
- Іващенко, О. М., & Поліщук, Г. Є. (2023). Дослідження показників якості йогуртів з мальтодекстрином і сухим глюкозним сиропом. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 162—175. doi: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-15.

COMPARISON OF PROPERTIES OF PLANT-BASED MILK AND COW'S MILK**I. Moroz, V. Shemet, I. Dudarev, O. Hulai***Lutsk National Technical University***Key words:**

Oat milk
Rice-almond milk
Rice-coconut milk
Soy milk
Plant-based beverage

Article history:

Received 05.09.2024
Received in revised form
20.09.2024
Accepted 11.10.2024

Corresponding author:

I. Dudarev
E-mail:
i_dudarev@ukr.net

Citation: Мороз І. А., Шемет В. Я., Дударев І. М., Гулай О. І. (2024). Порівняння властивостей молока на рослинній основі з коров'ячим. *Наукові праці НУХТ*, 30(5), 152—163. DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-13

ABSTRACT

Consumers are increasingly choosing foods that contain plant-based dairy analogues that are affordable and have high nutritional value, including macro and micronutrients and vitamins. Plant-based milk mimic the taste and consistency of cow's milk. Plant-based milk contain no hormones or antibiotics compared to animal milk. Physical, chemical and sensory properties of plant-based milk (soy, rice-almond, rice-coconut, and oat) available on the Ukrainian market were determined and compared with those of local cow's milk. Plant-based milk was an opaque homogeneous liquid of beige color with different tinting and it had a pleasant sweet taste with an aftertaste of raw materials. Plant-based milk had an appearance and consistency similar to cow's milk. Titratable acidity of plant-based milk did not exceed 21 °T. Titratable acidity of cow's milk was 16—18 °T. Dry matter content of plant-based milks was in the range of 8.73—9.83%. Dry matter content of cow's milk was 11.63—12.52%. Density of plant-based milk was in the range of 1027—1032 kg/m³. Density of cow's milk was 1028—1029 kg/m³. Protein content of plant-based milk was 2.31—5.12 g/100 ml. Fat content of plant-based milk was 1.5—3.0 g/100 ml. Carbohydrate content of plant-based milk was 2.53—8.01 g/100 ml. In cow's milk, the protein, fat and carbohydrate contents were 3.34—3.63 g/100 ml, 2.4—2.5 g/100 ml and 4.72—4.74 g/100 ml, respectively. Caloric content of plant-based milk was 46.2—64.2 kcal/100 ml. In plant-based milk, concentration of Ca²⁺ ions was 682—1058 mg/l and concentration of Mg²⁺ ions was 96—140 mg/l, which was lower than in cow's milk. Plant-based milks are not full substitutes for cow's milk, and their recipe composition needs to be balanced to provide the human body with the necessary nutrients.

ПОРІВНЯННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОЛОКА НА РОСЛИННІЙ ОСНОВІ З КОРОВ'ЯЧИМ

І. А. Мороз, В. Я. Шемет, І. М. Дударєв, О. І. Гулай,
Луцький національний технічний університет

Споживачі все частіше вибирають продукти харчування, що містять аналоги молочних продуктів рослинного походження, які доступні за ціною та мають високий вміст поживних речовин. Молоко на рослинній основі імітує смак і консистенцію коров'ячого молока. Порівняно з коров'ячим молоком молоко на рослинній основі не містить гормонів та антибіотиків.

У статті визначено фізико-хімічні й органолептичні властивості молока на рослинній основі (соевого, рисово-мигдального, рисово-кокосового та вівсяного), яке представлено на ринку України, та порівняно його властивості з коров'ячим молоком. Досліджено, що молоко на рослинній основі — це непрозора однорідна рідина бежевого кольору з приємним солодким смаком. Молоко на рослинній основі за зовнішнім виглядом і консистенцією подібне до коров'ячого. Титрована кислотність молока на рослинній основі не перевищувала 21 °Т, а коров'ячого — 16—18 °Т. Вміст сухих речовин у молоці на рослинній основі коливався в межах 8,73—9,83%. Вміст сухих речовин у коров'ячому молоці — 11,63—12,52%. Густина молока на рослинній основі — 1027—1032 кг/м³, а коров'ячого — 1028—1029 кг/м³. Вміст білка в молоці на рослинній основі — 2,31—5,12 г/100 мл. Жирність молока на рослинній основі — 1,5—3,0 г/100 мл, а вміст вуглеводів — 2,53—8,01 г/100 мл. Вміст білків, жиру та вуглеводів у коров'ячому молоці, відповідно, 3,34—3,63 г/100 мл, 2,4—2,5 г/100 мл та 4,72—4,74 г/100 мл. Калорійність молока на рослинній основі — 46,2—64,2 ккал/100 мл. У молоці на рослинній основі концентрація іонів Ca²⁺ 682—1058 мг/л, а концентрація іонів Mg²⁺ — 96—140 мг/л, що менше ніж у коров'ячому молоці. Молоко на рослинній основі не є повноцінною заміною коров'ячого, тому його рецептурний склад повинен бути збалансованим, щоб забезпечити організм людини необхідними поживними речовинами.

Ключові слова: вівсяне молоко, рисово-мигдальне молоко, рисово-кокосове молоко, соєве молоко, напій на рослинній основі.

Formulation of the problem. Cow's milk is among the most important foods in the human diet (Lambrini et al., 2021). It is an aqueous solution of lactose, inorganic and organic salts and numerous compounds, which contains whey proteins dissolved at the molecular level, caseins dispersed in large sizes (50—500 nm), colloidal aggregates (micelles) and lipids emulsified in the form of large (1—20 μm) globules (Fox, 2008). The main macronutrients of cow's milk are water 85—87%, fat 3.8—5.5%, carbohydrates 5% and proteins 2.9—3.5% (Connolly, Yin, & Brennan, 2023). Cow's milk contains various biologically active compounds, including vitamins, minerals, organic acids, biogenic amines, oligosaccharides, nucleotides, and immunoglobulins (Milovanović et al., 2023).

Physicochemical and nutritional properties of cow's milk have been studied in detail (Bahebeck et al., 2024). Recommendations for the consumption of milk or milk products

to meet the nutritional needs of people of different ages are developed (Dror, & Allen, 2014). However, there is a steadily increasing trend of diagnosed food intolerance to animal milk and food allergy, especially among school children (Tóth et al., 2021). Thus, the problem of replacing milk with an alternative plant-based product is relevant. Plant-based milk, obtained from various sources such as nut, soy, almond, coconut, oat, rice, is attracting more and more attention.

Analysis of recent research and publications. Choosing a beverage, consumers consider factors such as cost, health benefits and the availability of nutrients and bioactive compounds, including antioxidants, probiotics, proteins, unsaturated fatty acids, minerals and vitamins (Tolun, & Altintas, 2019). Beverages made from plant-based product contain natural proteins, lipids, lecithin, dietary fiber, minerals, vitamins. The composition of beverages varies depending on the plant raw material. Plant-based milk is often low in protein and is fortified with varying amounts of calcium, and vitamins A and D (Drewnowski, Henry, & Dwyer, 2021). The use of the term "plant-based milk" is controversial. In Canada, plant-based substitutes of dairy drinks are referred to as "soft drinks" rather than "milk". The use of the term "milk" in the labeling of plant-based drinks is quite acceptable in the USA (e. g., "oat milk") (Musa-Veloso, & Juana, 2020).

Plant-based milk has the same appearance as cow's milk, and it is a suspension of dissolved and crushed plant material in water. Extraction of plant material in water and separation of the liquid are the main processes used in the production of plant-based milk. Homogenization and heat treatment are used to improve the suspension and microbial stability of commercial products (Mäkinen, Wanhalinna, Zannini, & Arendt, 2016). Non-thermal treatments, such as ultra-high temperature treatment, ultra-high pressure homogenization, pulsed electric field treatment, are also used for this purpose. These techniques provide increased shelf life, emulsion stability, improved nutritional value, and sensory acceptability of the product (Sethi, Tyagi, & Anurag, 2016). Plant-based milk is usually subjected to fermentation, which increases the activity of bioactive compounds, improves product quality, and also increases the bioavailability of minerals (Babolanimogadam, Gandomi, Akhondzadeh Basti, & Taherzadeh, 2022).

The nutritional content of foods depends on the plant raw materials used, how they are processed and how the product is fortified (Paul, Kumar, Kumar, & Sharma, 2020; Silva, Silva, & Ribeiro, 2020). Legumes are a source of essential mono- and polyunsaturated fatty acids, minerals (Fe^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+}) and phytoestrogens (isoflavones). However, the soy protein contained in soy milk is an allergen. An alternative to soy milk are beverages made from chickpeas, lentils, lupins, and peas. These legumes are rich in protein, carbohydrates, dietary fiber, potassium, magnesium, zinc, B vitamins (Vallath, Shanmugam, & Rawson, 2022).

Among the range of plant-based milk, oat milk is in high demand due to its mild texture and taste. The use of oats in the production of plant-based milk ensures that the milk is enriched with nutrients and phytochemicals (Cui, Jia, Zhao, Hou, & Zhou, 2023). Cereal contains β -glucans, which help reduce cholesterol levels and improve the sensory properties of the drinks (Tangyu, Muller, Bolten, & Wittmann, 2019). Oat milk contains 34.03% carbohydrate, 0.966% protein, 0.36% fat, 3.2% fiber, and approximately 0.54% β -glucan (Syed, Gadhe, & Shaikh, 2020).

Plant-based milk is widely touted as healthy and beneficial, but understanding the long-term effects of consuming this beverage requires extensive research. There are a

number of problems associated with obtaining complete plant-based milk substitutes. Consumers consider these alternatives as direct substitutes for cow's milk, which is not true (Vanga, & Raghavan, 2018). Researchers believe that dairy alternatives differ from cow's milk in sensory properties, stability and nutrition content. Low biological value of proteins, insufficient amount of vitamins and low bioavailability of essential minerals are typical for most plant-based milk. Replacing cow's milk with plant-based milk can lead to deficiencies in calcium and zinc.

There is also a social aspect to the growth of the plant-based milk market. Plant-based milk has become a low-cost alternative for developing countries and places where the supply of cow's milk is insufficient (Sethi, Tyagi, & Anurag, 2016). Thus, alternative dairy products from various Ukrainian producers are gaining popularity and distribution.

The purpose of the research was to compare the properties of plant-based milk with cow's milk.

Materials and methods. *Sample preparation.* Samples of soy milk (SM), rice-coconut milk (RCM), rice-almond milk (RAM) and oat milk (OM) from local market (Lutsk, Ukraine) were examined. Cow's milk from local market (CMM) and farm (CMF) (Volyn region, Ukraine) were also examined. Plant-based milk and cow's milk samples were collected according to (Imran, Khan, Hassan, & Khan, 2008).

Physical and chemical properties measurements. Dry matter content of plant-based milk and cow's milk was determined by the gravimetric method by drying the samples to a constant mass for 2.5 h at a temperature of 102 ± 2 °C (Lim et al., 2023).

Titrate acidity of plant-based milk and cow's milk was determined by the titrimetric method (Tomovska, Gjorgievski, & Makarijoski, 2016). The active acidity (pH) of plant-based milk and cow's milk was determined by the potentiometric titration (Tomovska, Gjorgievski, & Makarijoski, 2016). Density of the milk samples was determined by the pycnometer method (Parmar et al., 2020).

Milk protein content was determined by spectrophotometric method according to the technique (Bhavya Sri, Hema, Anila, & Sumakanth Mogili, 2023), which is based on the formation of a colored product between milk proteins and concentrated nitric acid and subsequent determination of the optical density of the system. The optical density of the samples was measured using an AR-120 photoelectric colorimeter at a wavelength of 420 nm.

Total sugar content was determined by refractometry according to the method described in (McDonald et al., 2013). Fat content of the milk samples was determined by the Gerber method (Kleyn et al., 2001). In cow's milk and plant-based milk, content of calcium and magnesium was determined by the titrimetric method (Masotti, Cattaneo, Stuknytė, Pica, & De Noni, 2020).

Caloric content calculation. Caloric content of cow's milk or plant-based milk was calculated by Equation (1) (Capuano, Oliviero, Fogliano, & Pellegrini, 2018):

$$E = k_p P + k_f F + k_c C, \quad (1)$$

where: E — caloric content (kcal/100 ml); k_p, k_f, k_c — caloric content per 1 g of protein, fat and carbohydrates ($k_p = 4$ kcal; $k_f = 9$ kcal; $k_c = 3.75$ kcal) (kcal); P, F, C — content of protein, fat and carbohydrates per 100 ml of the milks (g/100 ml).

Sensory analysis. The plant-based milk samples were successively presented to the experts. All experts were food technology professionals who had training in sensory analysis. The expert evaluation of the sensory properties (appearance, taste, smell, color,

consistency) of the plant-based milk was performed in accordance with (Gomes et al., 2013) according to the scale: 5 points — very good quality; 4 points — good quality; 3 points — sufficient quality; 2 points — insufficient quality; 1 point — poor quality. Based on the results of the expert evaluation, the sensory profiles of different types of plant-based milk were created.

Quality assessment method. The weighting coefficients of the sensory properties of plant-based milk were determined by the ranking method based on the results of a survey of experts (Pudovkin, 2021). All experts were food technology professionals who had training in sensory analysis. The quality index of plant-based milk was calculated by Equation (2):

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i q_i, \quad (2)$$

where: m_i — the weighting coefficient of the sensory properties of the plant-based milks; q_i — the average value of the sensory property (points).

Statistical analysis and calculations. All analyses were performed in triplicate and data reported as mean \pm standard deviation (SD). The level of significance was set at $P < 0.05$. Statistical analysis and calculations were conducted using the Mathcad 14 software.

Results and discussion. *Physical and chemical properties.* Physical and chemical properties of plant-based milk and cow's milk are presented in Table 1—2. Active acidity of the plant-based milk and cow's milk ranged from 6.65 (cow's milk from local market) to 7.21 (rice-coconut milk). Active acidity of different types of plant-based milk probably did not differ from those of cow's milk (Table 1). The results of measuring the pH values of plant-based milk (almond, oat) obtained by Jemaa, Gamra, Falleh, Ksouri, & Beji (2021) show that the pH of beverages is close to neutrality.

Table 1. Active and titratable acidity, dry matter and density of plant-based milk and cow's milk

Plant-based milk and cow's milk	Active acidity (pH)	Titratable acidity, °T	Dry matter, %	Density, kg/m ³
Oat milk	7.16±0.01	6.60±0.01	9.18±0.05	1027.5±0.8
Soy milk	6.82±0.01	21.00±0.01	8.73±0.04	1030.0±0.7
Rice-almond milk	7.13±0.02	4.30±0.01	9.36±0.06	1028.0±0.7
Rice-coconut milk	7.21±0.02	3.30±0.01	9.83±0.05	1032.0±0.7
Cow's milk from local market	6.65±0.01	18.00±0.02	11.63±0.06	1028.0±0.9
Cow's milk from local farm	6.78±0.01	16.00±0.02	12.52±0.06	1029.0±0.9

Table 2. Calcium and magnesium ions content of plant-based milk and cow's milk

Plant-based milk and cow's milk	C (Ca ²⁺), mg/l	C (Mg ²⁺), mg/l
Oat milk	940.0±0.6	104.0±0.3
Soy milk	1058.0±0.6	140.0±0.3
Rice-almond milk	682.0±0.5	96.0±0.4
Rice-coconut milk	944.0±0.6	124.0±0.5
Cow's milk from local market	1354.0±0.7	164.0±0.4
Cow's milk from local farm	1414.0±0.4	188.0±0.6

Titratable acidity of cow's milk, which was 16—18 °T (Table 1), corresponded to the standard acidity values according to ISO 6091:2010. Titratable acidity of oat milk, rice-almond milk and rice-coconut milk was 6.6±0.01 °T, 4.3±0.01 °T and 3.3±0.01 °T,

respectively (Table 1). This was significantly lower than titratable acidity of cow's milk. However, titratable acidity of soy milk was 21 °T. This difference was due to the fact that the titratable acidity of cow's milk was determined by a complex of natural factors (content of fats, fatty acids, bacterial flora), which vary slightly depending on the composition of milk, storage and processing conditions. In plant-based milk, the complex of these factors is artificially created according to the milk recipe, therefore the titratable acidity of plant-based milk can differ significantly.

Density of plant-based milk and cow's milk was within 1027.5—1032.0 kg/m³ (Table 2). Dry matter in plant-based milk was lower (8.73—9.83%) than in cow's milk (11.63—12.52%) (Table 1). This was due to the lower content of protein, fats and, accordingly, dry matter in plant raw materials used for the production of plant-based milk. According to Walther et al. (2022), the mean values of dry matter for different plant-based milk were ranged as follows: almond 54.6 g/kg; coconut 43.0 g/kg; oat 90.3 g/kg; rice 118.4 g/kg; soy 84.2 g/kg.

Content of calcium and magnesium ions in plant-based milk was 682—1058 mg/l and 96—140 mg/l, respectively (Table 2). Among the different types of plant-based milk, the highest calcium content was in soy milk 1058±0.6 mg/l, and the lowest content was in rice-almond milk 682.0±0.5 mg/l. The highest magnesium content was also found in soy milk 140.0±0.3 mg/l. Content of calcium and magnesium ions in cow's milk was 1354—1414 mg/l and 164—188 mg/l, respectively (Table 2). According to Haas, Schnepfs, Pichler, & Meixner (2019), soy milk contains less calcium than cow's milk. According to Walther et al. (2022), the mean values of magnesium content for different plant-based milk were ranged as follows: almond 95.0 mg/kg; coconut 59.0 mg/kg; oat 42.0 mg/kg; rice 68.0 mg/kg; soy 200.0 mg/kg.

Nutritional value of plant-based milk and cow's milk is presented in Table 3. Protein content of cow's milk was 3.34—3.63 g/100 ml (Table 4). In the samples of plant-based milk (except soy milk), the protein content was lower than for cow's milk, ranging from 2.31 g/100 ml to 2.71 g/100 ml. Protein content of soy milk was 5.12 g/100 ml, which was due to the high content of plant-based protein in the soybeans from which the milk was made. According to Chalupa-Krebdak, Long, & Bohrer (2018), the soy-based milk had the highest protein content among the different types of plant-based milk, ranging from 2.50 to 3.16 g/100 ml, and almond-based milk had the lowest average protein content, ranging from 0.31 to 0.59 g/100 ml.

Table 3. Nutritional value of plant-based milk and cow's milk

Plant-based milk and cow's milk	Protein, g/100 ml	Fat, g/100 ml	Carbohydrate, g/100 ml	Energy, kcal/100 ml
Oat milk	2.50±0.02	2.5±0.1	6.51±0.03	56.9
Soy milk	5.12±0.03	1.8±0.1	2.53±0.02	46.2
Rice-almond milk	2.31±0.01	1.5±0.1	8.01±0.01	52.8
Rice-coconut milk	2.71±0.01	3.0±0.2	7.03±0.03	64.2
Cow's milk from local market	3.34±0.02	2.4±0.1	4.74±0.01	52.7
Cow's milk from local farm	3.63±0.01	2.5±0.1	4.72±0.01	54.7

Fat content in cow's milk was between 2.4 and 2.5 g/100 ml. Fat content of plant-based milk depended on the composition of the beverages and ranged from 1.5 to

3.0 g/100 ml. Rice-almond milk and soy milk had the lowest fat content at 1.5 g/100 ml and 1.8 g/100 ml, respectively. The results are consistent with the conclusions of Collard, & McCormick (2021) that cow's milk is the best source of fat and protein. The studies by Kalyn, Collard, & McCormick (2021) also found that the fat content of soy and almond milk was at least half that of cow's milk.

Content of carbohydrates in all types of analyzed plant-based milk (except soy milk) was in the range of 6.5—8.0 g/100 ml, which was higher than the content of carbohydrates in cow's milk (4.7 g/100 ml). The lowest carbohydrate content was in soy milk (2.5 g/100 ml). According to Fructuoso et al. (2021), carbohydrate content in different types of plant-based milk varied widely, from 0 to 22.29 g/100 ml.

Caloric content of cow's milk from the local market and from the local farm was 52.7 kcal/100 ml and 54.7 kcal/100 ml, respectively. Among the different types of plant-based milk, rice-coconut milk had the highest caloric content (64.2 kcal/100 ml), while soy milk had the lowest (46.2 kcal/100 ml). According to Fructuoso et al. (2021), the energy value of different types of plant-based milk varied widely, from 6 to 183 kcal/100 ml, depending on the beverage ingredients.

Sensory analysis. Appearance of all types of plant-based milk was rated with high average scores of 4.6—5.0 (Figure 1a). Oat milk and soy milk received the highest average scores (5.0 points). The appearance of supermarket milk was rated lower (4.8 points) than the appearance of farm milk (4.9 points) (Figure 1b), which is not significantly different from the appearance of various types of plant-based milk. The appearance of rice-coconut milk received the lowest average score from experts (4.6 points).

Consistency of oat milk and rice-almond milk was rated the highest at 5.0 points (Figure 1a). Soy milk and rice-coconut milk were rated 4.8 and 4.6 points, respectively. It was noted that plant-based milk is an opaque homogeneous liquid. The homogeneity of the plant milk produced by the Ukrainian manufacturers was ensured by the fact that the recipe contained a stabilization system (calcium carbonate, gellan gum and maltodextrin or carrageenan or locust bean gum). Cow's milk exhibit a smooth, liquid texture with a certain degree of viscosity. The consistency of cow's milk from the local market was rated lower (4.9 points) than the consistency of farm milk (5.0 points) (Figure 1b). Thus, all types of plant-based milk were similar in appearance and consistency to cow's milk. In previous studies, plant-based soft drinks were found to have sensory properties (consistency and appearance) similar to dairy beverages (Scholz-Ahrens, Ahrens, & Bart, 2020; Fructuoso et al., 2021).

All types of plant-based milk had a pleasant sweet taste with an aftertaste of the raw materials from which they were made. In plant-based beverages, beany, almond and oat flavors were particularly noticeable. The experts rated the taste of soy milk (5.0 points) and oat milk (4.6 points) highest, while rice-almond milk and rice-coconut milk received 4 points (Figure 1a). Cow's milk scored very high for taste (4.9—5.0 points) (Figure 1b). The taste of cow's milk was described as milky and sweet.

Plant-based milk has a neutral, slightly sweet smell. However, milk containing rice had cereal smell. Smell of soy milk was rated at 4.8 points, while rice-almond and rice-coconut milks were rated at 3.8 and 3.6 points, respectively. Oat milk was rated 4.2 points for smell. Cow's milk had a slightly sweet and mostly odorless smell. The smell of cow's milk was rated higher (5.0 points) than the smell of plant-based beverages (Figure 1).

All types of plant-based milk had a uniform beige color throughout the volume with different tinting. Color of plant-based milk was evaluated with high scores of 4.4—5.0. Cow's milk from the local market and farm was pale yellow and scored 5.0 points. Hence, color, taste and smell of plant-based milk differed from those of cow's milk.

The analysis of the sensory profiles of the plant-based milk (Figure 1a) shows that oat milk and soy milk had the best sensory characteristics. However, cow's milk had better sensory characteristics than plant-based milk. Jaeger, Dupas de Matos, Fremppomaa Oduro, & Hort (2024) note that the sensory characteristics of plant-based milk vary widely depending on the raw material and fortification. Cardello, Llobell, Giacalone, Roigard, & Jaeger (2022) noted that soy-based products were found to have metallic and astringent tastes, hay-like odour, cereal-based products (oat, rice) were found to have a cereal flavour, nut-based products (almond, coconut) were characterised by nutty flavours. Inferior sensory properties of plant-based milk compared to dairy milks are a major challenge and can reduce consumer acceptance of these beverages. As a result, there is a need to improve the flavour profile of plant-based milk.

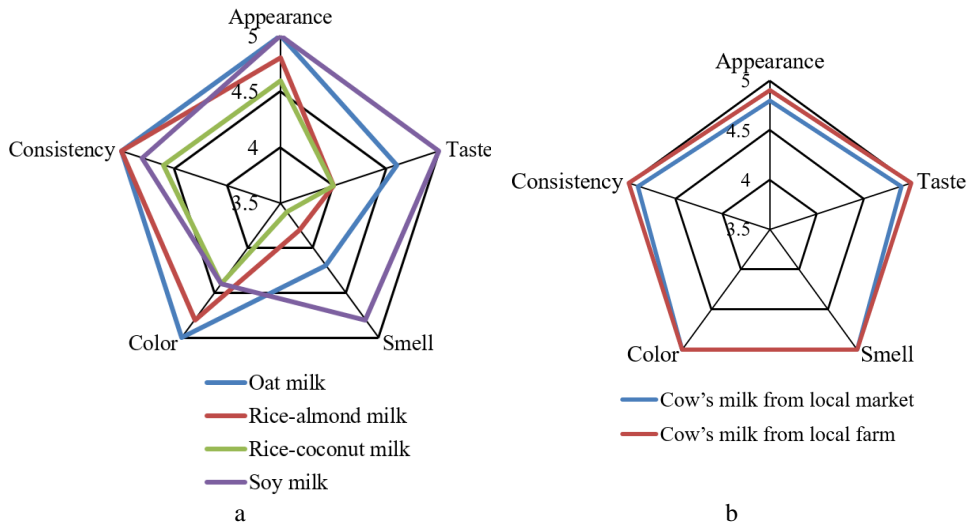


Figure 1. The sensory profiles of the different types of plant-based milk (a) and cow's milk (b) (average values of sensory indicators)

Quality assessment. Using the expert method, the weighting coefficients of sensory properties of plant-based milk and cow's milk were determined: taste — $m_1 = 0.33$; smell — $m_2 = 0.24$; appearance — $m_3 = 0.19$; color — $m_4 = 0.15$; consistency — $m_5 = 0.09$. According to experts, the taste was the most important sensory property of milks for consumers, while consistency was the least important sensory property.

In Figure 2, the calculating results of quality index of plant-based milk and cow's milk are presented. The soy milk had the highest value of the quality index, which was $Q = 4.844$. Thus, it was the most preferred beverage. The highest acceptability index for the flavor attribute was also found for the soybean beverage by Frühauf, Egea, Hernandez, & Takeuchi (2022). The rice-coconut milk (RCM) had the lowest value of the quality index, which was $Q = 4.132$. Other types of plant-based milk had the following values: oat milk (OM) — $Q = 4.676$; rice-almond milk (RAM) — $Q = 4.314$. The quality

indices of cow's milk from the local market ($Q = 4.92$) and from the farm ($Q = 4.981$) were higher than the quality indices of plant-based milks.

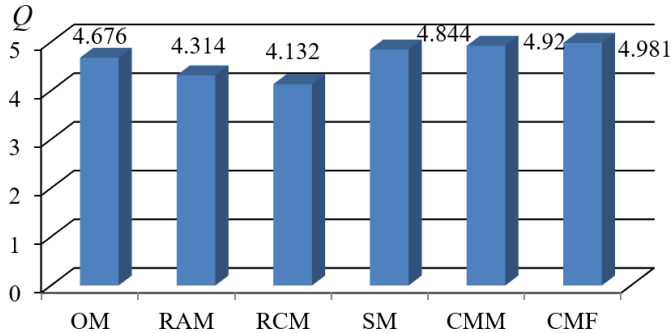


Figure 2. Quality indexes Q of the different types of plant-based milk and cow's milk

Conclusions

Active acidity (pH) of plant-based milk and cow's milk varies in the range of 6.65—7.21. In plant-based milk, titratable acidity varies within a wide range of 3.3—21.0 °T, which may be related to the recipe composition of the soft drinks. For most types of plant-based milk, titratable acidity is lower than the titratable acidity of cow's milk, which is 16—18 °T.

Density of plant-based milk and cow's milk not significantly different. However, dry matter in plant-based milk is up to 30.3% less than in cow's milk.

In plant-based milk, calcium content was found to be 25.2—49.6% lower than in cow's milk and magnesium content was found to be 25.5—41.5% lower than in cow's milk.

Nutrient and caloric content of plant-based milk depend on the recipe composition. Protein content of various types of plant-based milk, except soy milk, is lower than the protein content of cow's milk. Fat content of plant-based milk can be lower or higher than that found in cow's milk. Plant-based milk, except soy, are higher in carbohydrates than cow's milk.

Comparing plant-based milk and cow's milk according to their sensory, physical and chemical properties, it can be concluded that plant-based milk is not full-fledged substitutes for cow's milk, and its recipe composition needs to be balanced to provide the human body with the necessary nutrients.

Consistency and appearance of plant-based milk are similar to cow's milk. However, color of plant-based milk, which is beige with different tinting, is different from the color of cow's milk. Taste and smell of plant-based milk differ from cow's milk and depend on the raw materials used to make the soft drinks. Different types of plant-based milk have oat, coconut, soy, almond, and rice flavors and aromas. A comparison of the properties of different types of plant-based milk and cow's milk available on the Ukrainian market could help the consumers to make an informed decision about purchasing plant based milk beverages, taking into account their needs. In addition, the research results obtained can be used by producers to improve or develop new types of plant-based milk with improved sensory and nutritional properties.

References

- Babolanmogadam, N., Gandomi, H., Akhondzadeh Basti, A., & Taherzadeh, M. J. (2022). Nutritional, functional, and sensorial properties of oat milk produced by single and combined acid, alkaline, α -amylase, and sprouting treatments. *Food Science & Nutrition*, 11(5), 2288—2297. doi:10.1002/fsn3.3171.
- Bahebeck, P. N., Mengue, N. Y., Mohamadou, A., Noudjio, K. C., Nadjji-Nome, N., Mvondo, E. G. N., Hakoueu, F., & Etchu, K. A. (2024). Physicochemical properties of fresh cow's milk produced in the North-West Region, Cameroon (Central Africa). *Journal of Veterinary and Marine Research*, 4(1), 1—8.
- Bhavya Sri, K., Hema, B., Anila, B., & Sumakanth, M. (2023). A simple spectrophotometric method for quantification of casein in milk and milk products. *International Journal of Advanced Research*, 11(1), 1741—1745. doi:10.21474/IJAR01/16200.
- Capuano, E., Oliviero, T., Fogliano, V., & Pellegrini, N. (2018). Role of the food matrix and digestion on calculation of the actual energy content of food. *Nutrition Reviews*, 76(4), 274—289. doi:10.1093/nutrit/nux072.
- Cardello, A. V., Llobell, F., Giacalone, D., Roigard, C. M., & Jaeger, S. R. (2022). Plant-based alternatives vs dairy milk: Consumer segments and their sensory, emotional, cognitive and situational use responses to tasted products. *Food Quality and Preference*, 100, article number 104599. doi:10.1016/j.foodqual.2022.104599.
- Chalupa-Krebdak, S., Long, C. J., & Bohrer, B. M. (2018). Nutrient density and nutritional value of milk and plant-based milk alternatives. *International Dairy Journal*, 87, 84—92. doi:10.1016/j.idairyj.2018.07.018.
- Collard, K. M., & McCormick, D. P. (2021). A nutritional comparison of cow's milk and alternative milk products. *Academic Pediatrics*, 21(6), 1067—1069. doi:10.1016/j.acap.2020.12.007.
- Connolly, C., Yin, X., & Brennan, L. (2023). Impact of lactation stage on the metabolite composition of bovine milk. *Molecules*, 28(18), article number 6608. doi:10.3390/molecules28186608.
- Cui, L., Jia, Q., Zhao, J., Hou, D., & Zhou, S. (2023). A comprehensive review on oat milk: from oat nutrients and phytochemicals to its processing technologies, product features, and potential applications. *Food & Function*, 14(13), 5858—5869. doi:10.1039/d3fo00893b.
- Drewnowski, A., Henry, C. J., & Dwyer, J. T. (2021). Proposed nutrient standards for plant-based beverages intended as milk alternatives. *Frontiers in Nutrition*, 8, article number 761442. doi:10.3389/fnut.2021.761442.
- Dror, D. K., & Allen, L. H. (2014). Dairy product intake in children and adolescents in developed countries: trends, nutritional contribution, and a review of association with health outcomes. *Nutrition Reviews*, 72(2), 68—81. doi:10.1111/nure.12078.
- Fox, P. F. (2008). Milk: An overview. *Food Science and Technology*, 1, 1—54. doi:10.1016/B978-0-12-374039-7.00001-5.
- Fructuoso, I., Romão, B., Han, H., Raposo, A., Ariza-Montes, A., Araya-Castillo, L., & Puppini Zandonadi, R. (2021). An overview on nutritional aspects of plant-based beverages used as substitutes for cow's milk. *Nutrients*, 13, 2650—26800. doi:10.3390/nu13082650.
- Frühauf, V., Egea, M., Hernandez, T., & Takeuchi, K. (2022). Relationship between physicochemical and sensory characteristics of commercial plant-based beverages. *Journal of Culinary Science & Technology*, 21(6), 886—902. doi:10.1080/15428052.2021.2024470.
- Gomes, J. J. L., Duarte, A. M., Batista, A. S. M., de Figueiredo, R. M. F., de Sousa, E. P., de Souza, E. L., & de Cássia Ramos do Egypto Queiroga, R. (2013). Physicochemical and sensory properties of fermented dairy beverages made with goat's milk, cow's milk and a mixture of the two milks. *LWT — Food Science and Technology*, 54(1), 18—24. doi:10.1016/j.lwt.2013.04.022.
- Haas, R., Schnepps, A., Pichler, A., & Meixner, O. (2019). Cow milk versus plant-based milk substitutes: a comparison of product image and motivational structure of consumption. *Sustainability*, 11(18), article number 5046. doi:10.3390/su11185046.

Imran, M., Khan, H., Hassan, S. S., & Khan, R. (2008). Physicochemical characteristics of various milk samples available in Pakistan. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 9(7), 546—551. doi:10.1631/jzus.b0820052.

Jaeger, S. R., Dupas de Matos, A., Frempomaa Oduro, A., & Hort, J. (2024). Sensory characteristics of plant-based milk alternatives: Product characterisation by consumers and drivers of liking. *Food Research International*, 180, article number 114093. doi:10.1016/j.foodres.2024.114093.

Jemaa, M. B., Gamra, R., Falleh, H., Ksouri, R., & Beji, R. S. (2021). Plant-based milk alternative: nutritional profiling, physical characterization and sensorial assessment. *Current Perspectives on Medicinal and Aromatic Plants*, 4(2), 108—120. doi:10.38093/cupmap.1037118.

Kalyn, M., Collard, D. P., & McCormick, A. (2021). Nutritional comparison of cow's milk and alternative milk products. *Academic Pediatrics*, 21(6), 1067—1069. doi:10.1016/j.acap.2020.12.007.

Kleyn, D. H., Lynch, J. M., Barbano, D. M., Bloom, M. J., Mitchell, M. W., Cooper, L. S., Cusak, E., Fick, M., Hanks, T., Heslen, M. K., Johnson, J., Kleyn, D. H., Mercer, F., Monahan, D., Peat, B., & Petit, M. (2001). Determination of fat in raw and processed milks by the Gerber method: collaborative study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 84(5), 1499—1508. doi:10.1093/jaoac/84.5.1499.

Lambrini, K., Aikaterini, F., Konstantinos, K., Christos, I., Ioanna, P. V., & Areti, T. (2021). Milk nutritional composition and its role in human health. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 9(1), 8—13. doi:10.17265/2328-2150/2021.01.002.

Lim, S. H., Chin, N. L., Sulaiman, A., Tay, C. H., & Wong, T. H. (2023). Microbiological, physicochemical and nutritional properties of fresh cow milk treated with industrial high-pressure processing (HPP) during storage. *Foods*, 12(3), article number 592. doi:10.3390/foods12030592.

Masotti, F., Cattaneo, S., Stuknyté, M., Pica, V., & De Noni, I. (2020). Analytical advances in the determination of calcium in bovine milk, dairy products and milk-based infant formulas. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 348—360. doi:10.1016/j.tifs.2020.07.013.

McDonald, H., Arpaia, M. L., Caporaso, F., Obenland, D., Were, L., Rakovski, C., & Prakash, A. (2013). Effect of gamma irradiation treatment at phytosanitary dose levels on the quality of "Lane Late" navel oranges. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 91—99. doi:10.1016/j.postharvbio.2013.06.018.

Mäkinen, O. E., Wanhalinna, V. Z., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2016). Foods for special dietary needs: non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 339—349. doi:10.1080/10408398.2012.761950.

Milovanović, V., Petrović, M., Kurčić, V., Petrović, M., Miletić, N., & Durović, I. (2023). Comparison of cow's milk with plant-based milk alternatives: selected chemical and physical analysis. *Proceedings*, 53, 517—522. doi:10.46793/SBT28.517M.

Musa-Veloso, K., & Juana, J. (2020). Regulation and labeling of plant-based beverages and simulated meat, poultry, and egg products in Canada and the United States. *Cereal Foods World*, 65(4). doi:10.1094/CFW-65-4-0044.

Paul, A. A., Kumar, S., Kumar, V., & Sharma, R. (2020). Milk analog: Plant based alternatives to conventional milk, production, potential and health concerns. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(18), 3005—3023. doi:10.1080/10408398.2019.1674243.

Parmar, P., Lopez-Villalobos, N., Tobin, J. T., Murphy, E., McDonagh, A., Crowley, S. V., Kelly, A. L., & Shalloo, L. (2020). The effect of compositional changes due to seasonal variation on milk density and the determination of season-based density conversion factors for use in the dairy industry. *Foods*, 9(8), article number 1004. doi:10.3390/foods9081004.

Pudovkin, O. P. (2021). Application of qualimetric methods for assessing quality of complex products. *Journal of Physics: Conference Series*, article number 1728012018. doi:10.1088/1742-6596/1728/1/012018.

Sethi, S., Tyagi, S., & Anurag, R. (2016). Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 53. doi:10.1007/s13197-016-2328-3.

Scholz-Ahrens, K. E., Ahrens, F., & Bart, Ch. A. (2020). Nutritional and health benefits of milk and milk imitations. *European Journal of Nutrition*, 59, 19—34. doi:10.1007/s00394-019-01936-3.

Silva, R. A., Silva, M. N., & Ribeiro, B. D. (2020). Health issues and technological aspects of plant-based alternative milk. *Food Research International*, 131, article number 108972. doi:10.1016/j.foodres.2019.108972.

Syed, S. J., Gadhe, K. S., & Shaikh, R. P. (2020). Studies on quality evaluation of oat milk. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(1), 2275—2277.

Tangyu, M., Muller, J., Bolten, Ch. J., & Wittmann, Ch. (2019). Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 9263—9275. doi:10.1007/s00253-019-10175-9.

Tolun, A., & Altintas, Z. (2019). Medicinal properties and functional components of beverages. *Functional and Medicinal Beverages*, 11, 235—284. doi:10.1016/B978-0-12-816397-9.00007-8.

Tomovska, J., Gjorgievski, N., & Makarijoski, B. (2016). Examination of pH, titratable acidity and antioxidant activity in fermented milk. *Journal of Materials Science and Engineering*, A6(11—12), 326—333. doi:10.17265/2161-6213/2016.11-12.006.

Tóth, A. J., Kovács, A., Dunay, A., Illés, C. B., Fehér, O., & Bittsánszky, A. (2021). Catering of children with special dietary needs in school. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 13(2), 84—92. doi:10.34302/crpfjst/2021.13.2.8.

Vallath, A., Shanmugam, A., & Rawson, A. (2022). Prospects of future pulse milk variants from other healthier pulses — As an alternative to soy milk. *Trends in Food Science & Technology*, 124, 51—62. doi:10.1016/j.tifs.2022.03.028.

Vanga, S. K., & Raghavan, V. (2018). How well do plant based alternatives fare nutritionally compared to cow's milk? *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 10—20. doi:10.1007/s13197-017-2915-y.

Walther, B., Guggisberg, D., Badertscher, R., Egger, L., Portmann, R., Dubois, S., ... Rezzi, S. (2022). Comparison of nutritional composition between plant-based drinks and cow's milk. *Frontiers in Nutrition*, 9, article number 988707. doi:10.3389/fnut.2022.988707.

УДК 663.05:664.

FUNCTIONAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF MODEL MINCED MEAT OF KRAFT SEMI-SMOKED SAUSAGES WITH LAMB MEAT AND PLANT PROTEINS

V. Pasichnyi, S. Bozhko

National University of Food Technologies

V. Tischenko, N. Bozhko

Sumy National Agrarian University

Key words:

Lamb

Vegetable protein fillers

Technology

Semi-smoked craft

sausages

Article history:

Received 17.09.2024

Received in revised form

30.09.2024

Accepted 18.10.2024

Corresponding author:

V. Pasichnyi

E-mail:

pasww1@ukr.net

Citation: Пасічний В. М., Божко С. Б., Тищенко В. І., Божко Н. В. (2024). Функціонально-технологічні властивості модельних фаршів крафтових напівкопчених ковбасок з м'ясом баранини і рослинними наповнювачами. *Наукові праці НУХТ*, 30(5), 164—173.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-14

ABSTRACT

A scientific basis for the effectiveness of the use of vegetable fillers in the technology of semi-smoked sausages is provided in the article. The combination of proteins of animal and vegetable origin opens up new opportunities for the development of innovative products that can satisfy the needs of consumers. The purpose of our study was to determine the effectiveness of using vegetable protein sources, namely watermelon seeds, chia seeds and hemp seed protein in the technology of semi-smoked craft sausages based on lamb meat.

The subject of research was model meat systems of semi-smoked sausages in a natural casing. Semi-smoked sausage recipes were developed, the composition of which included lamb meat, mechanically deboned turkey meat, fatty pork, first grade beef, and watermelon seed flour, hemp seed protein, and chia seed flour in different ratios (4, 6, and 8% by weight of raw materials).

It was proved that increasing the part of lamb in semi-smoked sausages to 40%, introducing MDM of turkey and hemp seed protein to 8% improved the functional and technological properties of model minced meat: water binding capacity (WBC) by 9.31%, water holding capacity (WHC) by 34.1—45.83%. The use of watermelon seed flour in concentrations of 4—8% allowed to increase the WBC of model minced meat systems by 2.66—6.38%, and the moisture-retaining capacity by 31.69—38.54% compared to the control formulation. It was established that the addition of watermelon seed flour, chia seed flour and hemp seed protein to the recipes of semi-smoked sausages with lamb meat increased the emulsifying properties of meat model systems, namely the emulsifying capacity up to 46.07%, and the stability of the emulsion by an average of 22.30%. The level of emulsifying ability depends on the amount of filler in the recipe and on the content of protein substances in it.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-14

ФУНКЦІОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОДЕЛЬНИХ ФАРШІВ КРАФТОВИХ НАПІВКОПЧЕНИХ КОВБАСОК З М'ЯСОМ БАРАНИНИ І РОСЛИННИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ

В. М. Пасічний, С. Б. Божко

Національний університет харчових технологій

В. І. Тищенко, Н. В. Божко

Сумський національний аграрний університет

У статті наведено наукове обґрунтування ефективності використання рослинних наповнювачів у технології напівкопчених ковбас. Комбінування білків тваринного і рослинного походження відкриває нові можливості для розробки інноваційних продуктів, які можуть задовольнити потреби споживачів. Метою дослідження було визначення ефективності використання джерел рослинних протеїнів, зокрема кавуна, насіння чіа і протеїну з насіння коноплі в технології напівкопчених крафтових ковбас на основі м'яса баранини.

Предметом досліджень були модельні м'ясомісткі системи напівкопчених ковбас у натуральній оболонці. Розроблено рецептури напівкопченої ковбаси, до складу яких входили м'ясо баранини, м'ясо птиці механічного обвалювання індиче, свинина жирна, яловичина першого сорту, а також борошно насіння кавуна, протеїн насіння коноплі та борошно насіння чіа у різних співвідношеннях (4, 6 і 8% до маси сировини).

Доведено, що збільшення частки баранини у напівкопчених ковбасках до 40%, введення МПМО індичого та протеїну насіння коноплі до 8% покращує функціонально-технологічні властивості модельних фаршів: В33а на 9,31%, ВУЗ на 34,1—45,83%. Використання борошна з насіння кавуна у концентраціях 4—8% дає змогу підвищити В33 модельних фаршевих систем на 2,66—6,38%, а вологотримуючу здатність на 31,69—38,54% порівняно з контрольною рецептурою. Доведено, що введення борошна з насіння чіа у модельні системи на основі баранини призводить до зростання вмісту води на 3,11—8,86%, В33 на 8% і ВУЗ на 28,75—44,15%. Встановлено, що додавання борошна з насіння кавуна, насіння чіа і протеїну з насіння коноплі до рецептур напівкопчених ковбас підвищує емульгуючі властивості м'ясних модельних систем, зокрема емульгуючу здатність до 46,07%, а стабільність емульсії в середньому на 22,30%. Рівень емульгуючої здатності залежить від кількості наповнювача у рецептурі і від вмісту в ньому білкових речовин.

Ключові слова: баранина, рослинні наповнювачі, технологія, напівкопчені крафтові ковбаси.

Постановка проблеми. Сучасна харчова промисловість активно адаптується до змінюваних вимог споживачів, впроваджуючи функціональні інгредієнти для підвищення якості продукції. Зростання популярності рослинних білків обумов-

лене кількома факторами, включаючи проблеми зі здоров'ям тварин, глобальні дефіцити тваринного білка, попит на здорову їжу, а також релігійні вимоги до харчування (Sha, & Xiong, 2020; Tan та ін., 2023).

Комбінування білків тваринного і рослинного походження відкриває нові можливості для розробки інноваційних продуктів, які можуть задовольнити потреби споживачів. Білки бобових і олійних культур особливо важливі завдяки їх високому вмісту білка і функціональним властивостям (Kurek та ін., 2022; Kołodziejczak та ін., 2021). Це робить їх цінними компонентами для створення здорових, поживних і привабливих продуктів харчування. Поєднання білків різного походження може бути науково обґрунтованим технологічним прийомом не тільки для створення низькокалорійних з високою біологічною цінністю продуктів, але й з метою покращення низки споживчих властивостей, таких як текстура, смак і загальна споживча привабливість продуктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із перспективних компонентів, що активно вивчається в м'ясопереробній промисловості, є насіння чіа (*Salvia hispanica L.*), яке відрізняється високим вмістом біологічно активних сполук, зокрема омега-3 жирних кислот, антиоксидантів, харчових волокон і рослинних протеїнів (Fernández-López та ін., 2021; Senna та ін., 2024). Насіння чіа привертає велику увагу через вміст білка до 20%. Протеїн насіння чіа містить 18 замісних і незамінних амінокислот, які можна розглядати як альтернативне джерело рослинного білка для людей, які є веганами та мають алергію на сою або глютен (Chen та Luo, 2024). Використання насіння чіа у виробництві ковбасних виробів є особливо перспективним, так як дозволяє підвищити вологоутримуючу здатність і стабільність структури ковбаси на понад 30%, а також знизити вміст насичених жирів на 15—20% (Gorachiya та ін., 2022).

Окрім того, антиоксидантна активність насіння чіа допомагає зменшити окислювальні процеси, що є ключовим фактором у подовженні терміну зберігання готової продукції на 25—30% (Antonini та ін., 2020; Fernández-López та ін., 2020). Це забезпечує не лише тривалість зберігання, але й збереження смакових якостей і поживних властивостей продуктів. Пептиди, отримані з чіа, можуть бути новою альтернативою звичайним консервантам у їжі. Було синтезовано пептиди з насіння чіа та оцінено їх антибактеріальну активність щодо *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli* та *Salmonella Enteritidis* за допомогою тестів мікророзведення. Також проведено мікробне зараження зразків свинини, інокульованих *L. monocytogenes* і *S. Enteritidis*, щоб визначити їхню інгібіторну дію на м'ясо свинини. Результати показали потенційну антибактеріальну активність цих пептидів з мінімальними діючими концентраціями в діапазоні від 0,23 до 5,58 мг/мл. Відсоток інгібування біоплівки був вище 40%, а відсоток ліквідації був нижчим за 20%. Дослідження *in vitro* на еритроцитах і фібробластах людини продемонстрували, що пептиди не є гемолітичними чи цитотоксичними агентами (Madrazo та Campos, 2023).

Кавун (*Citrullus lanatus*) є одним із найбільш споживаних фруктів у світі завдяки своєму солодкому смаку та високому вмісту води. Однак його споживання призводить до накопичення побічних продуктів — насіння та шкірки. Поживність насіння кавуна вивчалася і була висвітлена в багатьох наукових дослідженнях, які продемонстрували різноманітність поживних речовин (жиру, білка, клітковини,

мінералів і вітамінів), а також фітохімічних молекул з широким спектром біологічної активності з позитивним впливом на здоров'я людини (Benmeziane, & Deradji, 2023). Аналіз хімічного складу насіння кавуна показав, що значення вмісту вологи, сирого протеїну, сирого жиру, золи, сирі клітковини та вуглеводів коливаються від 5,06—8,50%, 25,33—49,70%, 32,90—50,48%, 2,98—4,90%, 2,10—6,10% і 6,06—10,68% відповідно (Omonişi, 2020). За даними (Zamuz, 2021), насіння кавуна характеризується наявністю біологічно активних сполук, які мають різну хімічну структуру, такими як каротиноїди, ксантофіли, фенольні сполуки, цитрулін і ненасичені жирні кислоти. Велика кількість загальних поліфенолів, вітаміну С, цитруліну та лікопіну, близько 40% порівняно з сирими томатами, надають перевагу насінню кавуна порівняно з іншими культурами. Крім того, було встановлено, що насіння кавуна має терапевтичні властивості, включаючи проти-діабетичні, антиоксидантні, антигіпертензивні, протизапальні, противиразкові, протипухлинні, гіпохолестеринемічні, гепато-, нефро- та нейрозахисні властивості та антибактеріальні властивості (Zia та ін., 2021). Тож використання цього побічного продукту для проектування та розробки інноваційних функціональних продуктів харчування з доданою вартістю є важливим для стійкості в усьому харчовому ланцюгу.

Харчова цінність насіння конопель широко вивчалась в останні роки завдяки високій поживній цінності, зокрема вмісту ліпідів, білків, клітковини, мінералів і вітамінів. Протеїн насіння коноплі має бажаний профіль незамінних амінокислот і чудову засвоюваність, що свідчить про високу якість цього інгредієнту (Chen та ін., 2023). Насіння конопель багате на білок, ненасичені жирні кислоти та харчові волокна (Farinon та ін., 2020). Крім того, конопля має унікальний поживний склад з високим вмістом білка та більш низьким вмістом вуглеводів, ніж соя, що помітно відрізняє її від інших круп, таких як рис і пшениця. Конопляний білок складається з трьох основних фракцій: глобулінів, альбумінів і незначних пептидних ланцюгів, багатих сіркою (Rizzo та ін., 2023). Серед своїх помітних характеристик протеїн насіння коноплі демонструє високий рівень глутамінової кислоти й аргініну, що викликало інтерес до цього джерела білка. На частку аргініну припадає 12% протеїну конопель, що є значно вищою часткою, ніж інші джерела тваринного або рослинного походження з високим вмістом білка. Крім того, конопля має більший вміст сірковмісних амінокислот, ніж соя та казеїн (Montero та ін., 2023). Завдяки унікальному протеїновому складу, його функціональним властивостям протеїн насіння коноплі став інноваційним інгредієнтом у виробництві певних м'ясних продуктів (Pasichnyi та ін., 2024; Vozhko та ін., 2024).

Отже, хімічний склад продуктів переробки коноплі та кавуна, насіння чіа, їхня доступність і відносно низька собівартість на ринку регіональних продуктів України робить їх перспективним джерелом білка в технології м'ясних комбінованих продуктів.

Мета дослідження: визначення ефективності використання джерел рослинних протеїнів, зокрема насіння кавуна, насіння чіа і протеїну з насіння коноплі в технології напівкопчених крафтових ковбас на основі м'яса баранини.

Матеріали і методи. Предметом досліджень були модельні м'ясо-місткі системи напівкопчених ковбас у натуральній оболонці. В умовах ковбасного цеху ФОП «Максименко А. О.» було розроблено рецептури напівкопченої ковбаси, до складу яких входили м'ясо баранини, МПМО (індика), свинина жирна, яловичина

першого гатунку, а також борошно насіння кавуна, протеїн насіння коноплі та борошно насіння чіа у різних співвідношеннях (4, 6 і 8% до маси сировини), які представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Рецептури експериментальних напівкопчених ковбас

Інгредієнти	Кон- троль	Варіанти розроблених рецептур								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Баранини односортна	25	40	35	30	40	35	30	40	35	30
Свинина жилована жирна	35	14	16	20	14	16	20	14	16	20
Яловичина 1 сорту	40	17	23	27	17	23	27	17	23	27
МПМО (індице)	—	25	20	15	25	20	15	25	20	15
Борошно насіння кавуна	—	4	6	8	—	—	—	—	—	—
Протеїн з насіння коноплі	—	—	—	—	4	6	8	—	—	—
Борошно насіння чіа	—	—	—	—	—	—	—	4	6	8
Всього:	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Борошно з насіння кавуна вносили в гідратованому вигляді (гідромодуль 1:2), а протеїн насіння коноплі при гідромодулі 1:3, борошно насіння чіа при гідромодулі 1:2. Як контроль була обрана рецептура напівкопченої ковбаси «Хасіп-преміум» (ТУ У 10.1-39257173-002:2018).

М'ясо баранини, яловичину 1 сорту, свинину жиловану жирну подрібнювали на лабораторній м'ясорубці (Philipps, Germany), після чого додавали МПМО індице і сухі інгредієнти. Гідратацію рослинних компонентів проводили теплою (35—40 °С) водою протягом 15 хвилин. Подрібнені компоненти перемішували протягом 8 хвилин. У кінці перемішування фаршу додавали спеції. Після виготовлення фарш шприцювали за допомогою ручного шприца в натуральну оболонку баранячі черева. Подальшу обробку напівфабрикату проводили згідно з технологічною схемою, представленою на рис. 1.

Напівкопчену ковбасу виготовляли за традиційною технологією згідно з ДСТУ 4435:2005. У модельних фаршах визначали функціонально-технологічні показники за стандартними методиками: вологозв'язуюча здатність, вологоутримуюча здатність, вологість, рН, емульгуюча здатність, стабільність емульсії (Bozhko та ін., 2021a; Bozhko та ін., 2021b).

Викладення основних результатів дослідження. Результати вивчення функціонально-технологічних властивостей модельних фаршів напівкопчених ковбасок представлені в табл. 2.

Аналіз отриманих даних демонструє тенденцію до зв'язування й утримання вологи в модельних м'ясних системах на основі баранини і з використанням насіння кавуна. Показник ВЗЗ_а у дослідних зразках 1—3 коливався від 63,4±0,43 до 65,7±0,56 %, що на 2,66—6,38% вище порівняно з контрольним фаршем. Це можна пояснити тим, що компоненти, які входять до складу розроблених рецептур, були підібрані з урахуванням можливості синергічних взаємодій між ними, що дало змогу сполучно-тканинним білкам і білкам борошна з насіння кавуна разом

з м'ясними білками зв'язати та утримувати не лише воду внесену при гідратації, але й додаткову вологу згідно рецептурного співвідношення. Найвищим цей показник був у зразку фаршу за рецептурою № 3, в якому вміст борошна з насіння кавуна становив 8%, що свідчить про найбільш оптимальне співвідношення компонентів.

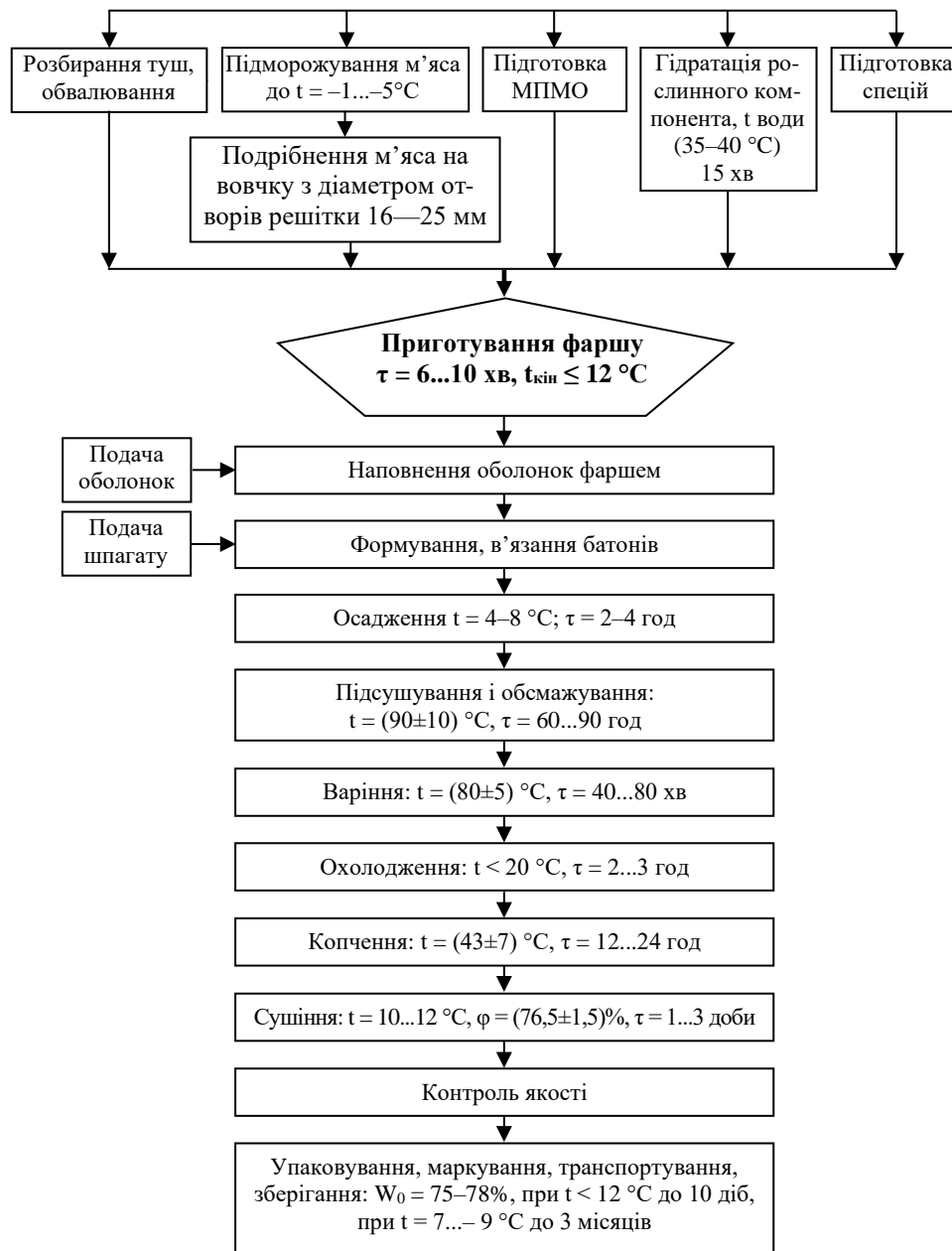


Рис. 1. Технологічна схема виготовлення напівкопчених ковбасок

Таблиця 2. Функціонально-технологічні властивості модельних фаршів дослідних напівкопчених ковбасок з м'ясом баранини і рослинними наповнювачами

Показ-ник	Контроль	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вміст во-логи, %	60,13±1,09	63,15±0,87	64,71±0,78	65,34±0,46	63,00±0,87	66,27±1,09	68,51±0,16	62,00±0,48	64,31±0,89	65,46±0,21
VЗЗ _а , %	61,76±0,04	63,4±0,43	64,3±0,13	65,7±0,56	64,50±0,17	64,76±0,33	67,51±0,09	63,65±0,13	63,87±0,28	66,95±0,11
VЗЗ _м , %	96,31±0,16	95,3±0,27	96,5±0,11	97,3±0,03	97,23±0,08	96,89±0,54	97,84±0,45	97,88±0,07	97,89±0,34	98,14±0,35
ВУЗ, %	37,42±1,74	49,28±0,47	50,69±0,95	51,84±0,35	50,18±1,37	53,09±3,45	54,57±0,33	48,18±0,77	52,57±1,05	53,94±0,22
pH	5,99±0,01	6,04±0,01	6,09±0,01	6,14±0,03	6,24±0,01	6,25±0,01	6,52±0,03	6,14±0,01	6,15±0,01	6,24±0,03

Вологоутримуюча здатність модельних м'ясних систем з додаванням борошна з насіння кавуна коливала в межах від 49,28±0,47% до 51,84±0,35%, що на 31,69—38,54% вище порівняно з контрольною рецептурою.

Аналогічні залежності були отримані і при вивченні VЗЗ_м модельних фаршів. Цей показник у дослідних модельних системах 1—3 становив у середньому 96,37%, що практично не поступається значенню цього показника в контролі.

Аналіз даних, наведених у табл. 2 чітко показує тенденцію до покращення функціонально-технологічних властивостей зразків зі збільшенням частки баранини і протеїну насіння коноплі в продукті. Збільшення вмісту баранини і протеїну коноплі до 40 і 8% відповідно підвищує вміст води в модельному фарші до 68,51%, внаслідок чого VЗЗ_а зростає до 67,51%, що на 9,31% вище порівняно з аналогом. ВУЗ коливав від 50,18±1,37% до 54,57±0,33%, що в середньому на 40% вище за аналог.

Дані табл. 2 свідчать про тенденцію до підвищення функціонально-технологічних властивостей напівкопчених ковбасок з високим вмістом баранини і борошном з насіння чіа. Так, вміст води в дослідних зразках коливався від 62,00±0,48% до 65,46±0,21% залежності від вмісту баранини і борошна насіння чіа в рецептурі, що на 3,11—8,86% вище порівняно з контрольним зразком. Підвищення вмісту води вплинуло на зростання вологов'язуючої здатності фаршів. Так, найвища VЗЗ_а відмічена в модельному фарші за рецептурою 9 і становила 66,95±0,11%, що на 8,4% вище порівняно з аналогом. Підвищення VЗЗ_а відбувалося пропорційно вмісту баранини і борошна з насіння чіа.

Аналогічна тенденція спостерігалася при вивченні вологоутримуючої здатності модельних фаршів. ВУЗ дослідних зразків коливала від 48,18±0,77 до 53,94±0,22 %, що на 28,75—44,15% вище, ніж у контрольному фарші. Наявність клітковини і високий вміст білка у насінні чіа та баранині слугують природними гідроколоїдами, що дають змогу експериментальним фаршам зв'язувати й утримувати вологу навіть після термічної обробки.

Величина pH у контрольному зразку була найнижчою і становила 5,99±0,01, тоді як у дослідних зразках pH був вище в середньому на 0,29 в лужний бік, що пояснюється включенням рослинних препаратів.

Експериментальні дані емульгуючої здатності (ЕЗ) і стабільності емульсії (СЕ) м'ясних модельних систем для напівкопчених ковбас представлені на рис. 2.

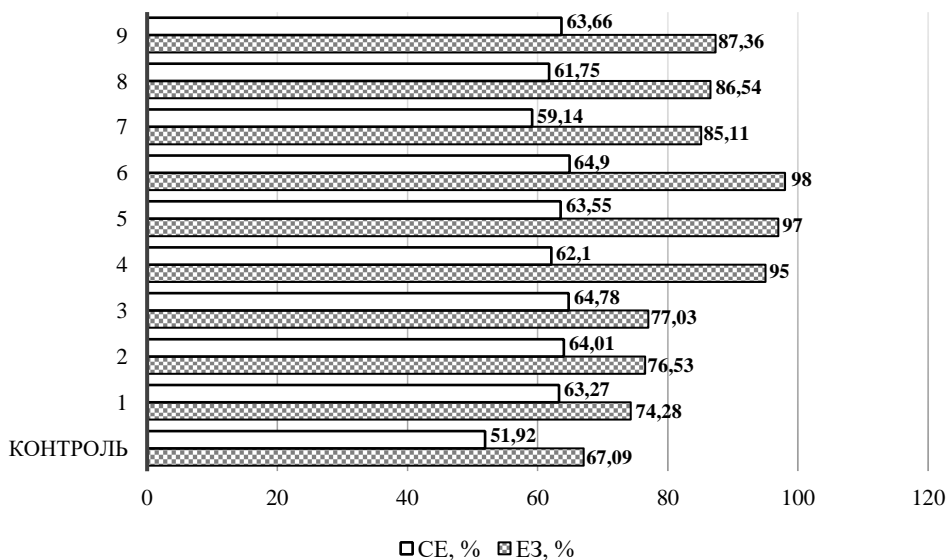


Рис. 2. Емульгуючі властивості модельних м'ясних систем напівкопчених ковбасок з м'ясом баранини і рослинними наповнювачами

Як бачимо з рис. 2, емульгуюча здатність усіх представлених зразків модельних систем коливалася в межах 67,09—98%. ЕЗ була найбільшою у дослідному зразку фаршу, виготовленому за рецептурою № 6 (8% протеїну насіння коноплі) та становила $98,00 \pm 0,04\%$, що на 46,07% вище порівняно з контролем. Загалом, додавання рослинних наповнювачів до м'ясних систем не призвело до погіршення емульгуючих властивостей модельних фаршів. При порівнянні впливу виду і концентрації рослинного препарату на емульгуючі властивості фаршів слід відмітити, що емульгуюча здатність фаршів з протеїном насіння коноплі була вище, ніж модельних систем з борошном з насіння кавуна та борошном з насіння чіа. Так, ЕЗ фаршів з борошном насіння кавуна коливала від $74,28 \pm 1,47\%$ до $77,03 \pm 0,71\%$, що в середньому на 12,37% вище, ніж у контролі. ЕЗ м'ясних модельних систем з протеїном насіння коноплі становила 95—98%. Очевидно, що це пов'язано з вмістом протеїну в рослинних наповнювачах, яка для протеїну коноплі коливає на рівні 50—52%, а для борошна з насіння кавуна — 25—30%.

Встановлено, що стабільність емульсії після термічної обробки також була вище в дослідних зразках, ніж у контролі. Так, СЕ у фаршах з борошном коноплі становила від $63,27 \pm 0,27$ до $64,78 \pm 0,31\%$, а у фаршах з протеїном насіння коноплі від $62,10 \pm 1,11\%$ до $64,90 \pm 0,77\%$, тобто була практично однаковою залежно від концентрації наповнювача в рецептурі. Проте в середньому цей показник у дослідних зразках був вищий, ніж у контролі в середньому на 22,30%.

Результати вивчення емульгуючих властивостей дослідних напівкопчених ковбасок демонструють чітку залежність відповідних показників від вмісту баранини і борошна з насіння чіа. Чим більше вміст баранини і борошна з насіння чіа, тим

вища емульгуюча здатність і стабільність емульсії фаршів. Так, стабільність емульсії фаршів дослідних зразків становила 59,14—63,66%, що на 13,91—22,61% вище, порівняно з аналогом.

Висновки

Отже, використання в технології напівкопчених ковбасок м'яса баранини і рослинних наповнювачів, зокрема борошна з насіння кавуна, насіння chia і протеїну насіння дає змогу отримати м'ясні вироби з високими функціонально-технологічними властивостями.

Доведено, що збільшення частки баранини в напівкопчених ковбасах до 40%, введення МПМО індичого та протеїну насіння коноплі до 8% покращує функціонально-технологічні властивості модельних фаршів: ВЗЗ_а — на 9,31%, ВУЗ — на 34,1—45,83%.

Використання борошна з насіння кавуна у концентраціях 4—8% підвищує ВЗЗ модельних фаршевих систем на 2,66—6,38%, вологоутримуючу здатність — на 31,69—38,54% порівняно з контрольною рецептурою.

Доведено, що введення борошна з насіння chia в модельні системи на основі баранини призводить до зростання вмісту вологи на 3,11—8,86%, ВЗЗ — на 8%, ВУЗ — на 28,75—44,15% порівняно з традиційною напівкопченою ковбасою, яка слугувала контрольним зразком.

Встановлено, що додавання борошна з насіння кавуна, насіння chia і протеїну з насіння коноплі до рецептур напівкопчених ковбас підвищує емульгуючі властивості м'ясних модельних систем: емульгуючу здатність — до 46,07%, стабільність емульсії — в середньому на 22,30%. Рівень емульгуючої здатності залежить від кількості наповнювача у рецептурі і від вмісту в ньому білкових речовин.

Література

Antonini, E., Torri, L., Piochi, M., Cabrino, G., Meli, M. A., & De Bellis, R. (2020). Nutritional, antioxidant and sensory properties of functional beef burgers formulated with chia seeds and goji puree, before and after in vitro digestion. *Meat Science*, 161, 108021. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108021>.

Benmeziane, F., Derradji, A. (2023). Composition, bioactive potential and food applications of watermelon (*citrullus lanatus*) seeds — a review. *Food Measure*, 17, 5045—5061. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-02012-5>

Bozhko, N. V., Tischenko, V. I., Stepanova, T. M. (2024). Development of meat-containing semi-finished products with pike meat and hemp seed protein. *Journal of Chemistry & Technologies*, 32(1). <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i1.296208>.

Bozhko, N., Pasichnyi, V., Tischenko, V., Marynin, A., Shubina, Y., Strashynskiy, I. (2021a). Determining the nutritional value and quality indicators of meat-containing bread made with hemp seeds flour (*Cannabis sativa L.*). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(11), 112. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237806>.

Bozhko, N., Pasichnyi, V., Tischenko, V., Marynin, A., Shubina, Y., Strashynskiy, I. (2021b). Development of meat-containing breads with hemp seed flour and turkey meat of mechanical crumbing. *EUREKA: Life Sciences*, (4), 34—42. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2021.001977>.

Chen, H., Xu, B., Wang, Y., Li, W., He, D., Zhang, Y., Xing, X. (2023). Emerging natural hemp seed proteins and their functions for nutraceutical applications. *Food Science and Human Wellness*, 12(4), 929—941. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.10.016>.

Chen, S., Luo, X. (2024). Chia seed protein as a promising source for plant-based foods: Functional properties, processing methods and potential food applications. *Applied Food Research*, 100459. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100459>.

Farinon, B., Molinari, R., Costantini, L., Merendino, N. (2020). The seed of industrial hemp (*Cannabis sativa L.*): Nutritional quality and potential functionality for human health and nutrition. *Nutrients*, 12, 1935. <https://doi.org/10.3390/nu12071935>.

Fernández-López, J., Viuda-Martos, M., Pérez-Alvarez, J. A. (2021). Quinoa and chia products as ingredients for healthier processed meat products: Technological strategies for their application and effects on the final product. *Current Opinion in Food Science*, 40, 26—32. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.05.004>.

Fernández-López, J., Viuda-Martos, M., Sayas-Barberá, M. E., Navarro-Rodríguez de Vera, C., Lucas-González, R., Roldán-Verdú, A., Pérez-Alvarez, J. A. (2020). Chia, quinoa, and their coproducts as potential antioxidants for the meat industry. *Plants*, 9(10), 1359. <https://doi.org/10.3390/plants9101359>.

Gorachiya, P. R., Bais, B., Pathak, V., Goswami, M. (2022). Quality evaluation of low fat chicken sausages fortified with dietary fibre. *Journal of Animal Research*, (3), 421—428. <https://doi.org/10.30954/2277-940X.03.2022.16>.

Kołodziejczak, K., Onopiuk, A., Szpicer, A., Poltorak, A. (2021). Meat analogues in the perspective of recent scientific research: A review. *Foods*, 11(1), 105. <https://doi.org/10.3390/foods11010105>.

Kurek, M. A., Onopiuk, A., Pogorzelska-Nowicka, E., Szpicer, A., Zalewska, M., Póltorak, A. (2022). Novel protein sources for applications in meat-alternative products — Insight and challenges. *Foods*, 11(7), 957. <https://doi.org/10.3390/foods11070957>.

León Madrazo, A., & Segura Campos, M. R. (2023). Antibacterial properties of peptides from chia (*Salvia hispanica L.*) applied to pork meat preservation. *Journal of Food Science*, 88(10), 4194—4217. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16754>.

Montero, L., Ballesteros-Vivas, D., Gonzalez-Barrios, A. F., Sánchez-Camargo, A. D. P. (2023). Hemp seeds: Nutritional value, associated bioactivities and the potential food applications in the Colombian context. *Frontiers in nutrition*, 9, 1039180. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1039180>.

Omoniyi, S. A. (2020). Nutrient and anti-nutritional composition of Watermelon (*Citrullus lanatus*) seed: A review. *FUW trends in science and technology*, 5, 048—051. Режим доступу: <https://www.ftstjournal.com/uploads/docs/51%20Article%208.pdf>.

Pasichnyi, V., Shevchenko, O., Tischenko, V., Bozhko, N., Marynin, A., Strashynskiy, I., & Mat-suk, Y. (2024). Substantiating the feasibility of using hemp seed protein in cooked sausage technology. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 130(11). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.310668>.

Rizzo, G., Storz, M. A., & Calapai, G. (2023). The role of hemp (*Cannabis sativa L.*) as a functional food in vegetarian nutrition. *Foods*, 12(18), 3505. <https://doi.org/10.3390/foods12183505>.

Senna, C., Soares, L., Egea, M. B., & Fernandes, S. S. (2024). The techno-functionality of chia seed and its fractions as ingredients for meat analogs. *Molecules*, 29(2), 440. <https://doi.org/10.3390/molecules29020440>.

Sha, L., Xiong, Y. L. (2020). Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 51—61. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.022>.

Tan, M., Nawaz, M. A., Buckow, R. (2023). Functional and food application of plant proteins — a review. *Food Reviews International*, 39(5), 2428—2456. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1955918>.

Zamuz, S., Munekata, P. E., Gullón, B., Rocchetti, G., Montesano, D., Lorenzo, J. M. (2021). Citrullus lanatus as source of bioactive components: An up-to-date review. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 208—222. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.002>.

Zia, S., Khan, M. R., Shabbir, M. A., & Aadil, R. M. (2021). An update on functional, nutraceutical and industrial applications of watermelon by-products: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 275—291. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.039>.

INCREASING THE FOOD VALUE OF BREAD STICKS FOR RESTAURANT ESTABLISHMENTS

T. Sylchuk, V. Drobot, V. Zuyko, O. Bortnichuk, A. Nechyporuk

National University of Food Technologies

Key words:

Bakery products
Non-traditional raw materials
Sensory indicators
Nutritional value

Article history:

Received 12.09.2024
Received in revised form 03.10.2024
Accepted 18.10.2024

Corresponding author:

T. Sylchuk
E-mail:
tsnuft@gmail.com

Citation: Сильчук Т. А., Дробот В. І., Зуйко В. І., Бортнічук О. В., Нечипорук А. Ю. (2024). Підвищення харчової цінності хлібних паличок для закладів ресторанного господарства. *Наукові праці НУХТ*, 30(5), 174—182.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-15

ABSTRACT

The quality and safety of food products is one of the priority tasks that food enterprises of various capacities and directions are solving today. Restaurant establishments have a greater opportunity to qualitatively influence the balanced diet of their consumers, therefore it is important and urgent to expand the range of products with functional properties. The attention is paid on dishes and products that are products of daily use. This include a wide range of bread products.

The technology of breadsticks (grissini) using new raw materials was studied. This type of bread products is included as a component of aperitifs, snacks, and is also served with soups in restaurants with a European menu. The expediency of enriching breadsticks with oat bran, oat flakes, sesame and poppy in the amount of 30% of the mass of flour due to the content in the selected additives of a significant amount of micro- and macroelements, in particular dietary fiber, magnesium, zinc, iron, copper and selenium, was proven. The emphasis of the improvement is focused on a group of potential consumers who live in cities under the influence of negative environmental factors and constant stress.

The recipe and parameters of the technological process of new bread products were proposed, the influence of new recipe components on the main and normalized physico-chemical, as well as sensory indicators, as a priority for potential consumers of the developed product, was investigated. The chemical composition of grissini breadsticks was calculated and the qualitative result of improvement was determined, in particular the content of mineral substances, in particular those whose content satisfied the daily requirement in the amount of 10—50%.

It was found that the introduction of new raw materials contributed to an increase in the share of dietary fiber (up to 13.3—28.3% of the daily requirement), magnesium (up to 12.8—31.1% of the daily requirement), iron (15.9—34, 0%), zinc (13.0—22.6%), selenium (up to 40.2%) and other minerals. The finished products had a higher nutritional and energy value. The expediency of using the proposed new products as a mix in the composition of snacks, salads and served with soups in restaurants was substantiated.

ПІДВИЩЕННЯ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ХЛІБНИХ ПАЛИЧОК ДЛЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

Т. А. Сильчук, В. І. Дробот, В. І. Зуйко, О. В. Бортнічук, А. Ю. Нечипорук
Національний університет харчових технологій

Якість і безпечність харчових продуктів є одним із пріоритетних завдань, яке сьогодні вирішують підприємства харчування. Заклади ресторанного господарства мають більше можливостей якісно впливати на збалансованість харчування своїх відвідувачів, тому важливим і актуальним завданням є розширення асортименту продукції з функціональними властивостями. У фокусі уваги передусім перебувають страви і вироби, які є продуктами щоденного вжитку. До таких належить широкий асортимент хлібних виробів.

Досліджено технологію хлібних паличок (грисині) з використанням додаткової сировини. Цей вид хлібних виробів входить до складу аперитивів, закусок, а також подається до супів у закладах ресторанного господарства з європейським спрямуванням меню. Доведено доцільність збагачення хлібних паличок вівсяними висівками, вівсяними пластівцями, кунжутом і маком у кількості 30% до маси борошна через вміст в обраній сировині значної кількості мікро- та макроелементів, зокрема харчових волокон, магнію, цинку, заліза, міді та селену. Досліджено вплив додаткових рецептурних інгредієнтів на органолептичні та фізико-хімічні показники якості готових виробів. Розраховано хімічний склад, харчову й енергетичну цінність розроблених виробів. Визначено вміст мінеральних речовин, кількість яких задовольняє добову потребу організму людини на 10–50%.

Встановлено, що внесення додаткової сировини сприяло збільшенню масової частки харчових волокон (до 13,3–28,3% від добової потреби), магнію (до 12,8–31,1% від добової потреби), заліза (15,9–34,0% від добової потреби), цинку (13,0–22,6%), селену (до 40,2%) та інших мінеральних речовин. Готові вироби мали більшу харчову та енергетичну цінність. Обґрунтовано доцільність використання розроблених хлібних паличок підвищеної харчової цінності у закладах ресторанного господарства.

Ключові слова: хлібобулочні вироби, нетрадиційна сировина, органолептичні показники, харчова цінність.

Постановка проблеми. Останнім часом здорове харчування набуває все більшого значення. Багато людей замовляють їжу додому або харчуються у закладах ресторанного господарства, тому відповідальність за якість та харчову цінність страв і виробів перекладається саме на заклади харчування. У ресторанному господарстві асортимент страв повинен бути достатньо великим, щоб задовольнити добову потребу людини в цінних нутрієнтах, які є важливими для нормального функціонування організму людини.

Окрім забезпечення високої якості виробів, важливим є впровадження в меню продуктів щоденного вжитку, які можуть покращити стан здоров'я людини. До

таких виробів можна віднести хлібобулочні вироби, зокрема хлібні палички (грисині). Цей продукт є складовою аперитивів, закусок і часто додається до супів у закладах з європейським спрямуванням меню. Саме тому підвищення харчової цінності та розширення асортименту хлібних паличок грисині з використанням додаткової сировини з багатим нутрієнтним складом є актуальним питанням сьогодні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Раціональний і продуманий підхід до якісного харчування в аспекті задоволення потреб населення в цінних нутрієнтах є аксіомою для виробників харчових продуктів. Хлібні палички досить поширений хлібобулочний виріб (Новойтенко, & Малиновський, 2020). Їх перевагою є порівняно проста технологія виготовлення з можливістю значно розширювати асортимент виробів шляхом зміни рецептурного складу без погіршення споживчих властивостей. Так, проводились дослідження можливості додавання насіння льону золотого до складу хлібних паличок з метою покращення смакових властивостей виробу та підвищення його харчової цінності (Бондаренко, Білик, & Борщова, 2020). Досліджували використання ізоляту соєвого білка для підвищення харчової та біологічної цінності хлібних паличок (Дробот, Махинько, & Скотар, 2016). Виготовлення хлібних паличок на основі нутового та кукурудзяного борошна описано в (Шелудько, 2022), де доведена можливість використання нових видів борошна для виготовлення безглютенових виробів. Для покращення фізико-хімічних показників, впливу на біологічну цінність, підвищення вмісту харчових волокон та макро- і мікроелементів грисині збагачували борошном зеленої гречки, насінням чіа та оливковою олією (Соколова та ін., 2020). Використання білкових збагачувачів і холодної екструзії в технології хлібних паличок описано в (Арсеньєва та ін., 2012). З метою збагачення цінними мікро- та макронутрієнтами, харчовими волокнами у працях (Демидова, Самілик, & Буяло, 2024; Сівохіна, Варибрус, & Туз, 2024; Лисенко, & Корецька, 2018; Петрова, 2016; Сінанова, & Усатюк, 2017) пропонується збагачувати хлібні палички вівсяним борошном і насінням кунжуту, борошном із жолудів, овочевими добавками, додавати порошок *Sorbus aucuparia*, щавнатову пасту. Отже, хлібні палички є хлібобулочними виробами, які заслуговують на увагу науковців. На підставі аналізу останніх публікацій можна зробити висновок про доцільність внесення до їх складу додаткової сировини з метою розширення асортименту та підвищення харчової цінності готових виробів.

Мета статті: дослідження ефективності використання додаткової сировини (вівсяних пластівців, вівсяних висівок, насіння маку та кунжуту) в технології грисині для розширення асортименту та підвищення харчової цінності готових виробів.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження була технологія хлібних паличок (грисині). Предметом дослідження — готові вироби, виготовлені з пшеничного борошна вищого сорту, збагачені вівсяними пластівцями, вівсяними висівками, насінням маку та кунжуту.

При проведенні досліджень готували наступні зразки хлібних паличок:

1. Контроль — хлібні палички, виготовлені з пшеничного борошна вищого сорту;

2. Зразок 1 — хлібні палички, виготовлені з пшеничного борошна вищого сорту, збагачені вівсяними пластівцями;
3. Зразок 2 — хлібні палички, виготовлені з пшеничного борошна вищого сорту, збагачені вівсяними висівками;
4. Зразок 3 — хлібні палички, виготовлені з пшеничного борошна вищого сорту, збагаченні кунжутом;
5. Зразок 4 — хлібні палички, виготовлені з пшеничного борошна вищого сорту, збагачені маком.

Хлібні палички готували безопарним способом. Для цього замішували тісто вологістю 42% протягом 5—7 хв з пшеничного борошна (100%), солі (1%), цукру (13%), пресованих дріжджів (4%) та соняшникової олії (11%). Додаткові інгредієнти вносили в рецептуру в кількості 30% до маси борошна в тісті для забезпечення 30—50% добової потреби організму в фізіологічно функціональних інгредієнтах. Готове тісто залишали на 90 хв при температурі 28—30 °С. Тісто порціонували, розкатували смужки, які потім закручували. Формували вироби у вигляді паличок довжиною 200 мм, масою 15 г, що надає можливість рекомендувати їх у закладах ресторанного господарства як окремі хлібні вироби, так і в складі закусок та додаткових компонентів до супів і салатів. Випікали вироби за температури 190—210 °С протягом 15—20 хв до світло коричневого кольору. Готові хлібні палички аналізували через 3 год після випікання за органолептичними (зовнішній вигляд, колір, пропеченість, смак, запах) та фізико-хімічними показниками (Бондаренко, Білик, & Борщова, 2020; Дробот та ін., 2015). Достовірність отриманих результатів забезпечували повторенням експериментів тричі.

Результати і обговорення. Хлібні палички мають низьку харчову та біологічну цінність, але при збагаченні виробів різноманітною додатковою смако-ароматичною сировиною можна значно покращити їх хімічний склад. На основі узагальнення літературних даних (Петрова, Болгова, Губа, & Доденко, 2022; Шевченко, Літвинчук, & Дробот, 2023; Бондаренко, Білик, Кочубей-Литвиненко, & Андронович, 2020; Юдічева, & Огороднік, 2019) проаналізували та узагальнили хімічний склад додаткової сировини (табл. 1).

Таблиця 1. Хімічний склад додаткової сировини (в 100 г)

Назва нутрієнту	Вівсяні пластівці	Вівсяні висівки	Кунжут	Мак
Калорійність, ккал	379,0	246,0	573,0	525,0
Жири, г	6,5	7,03	49,7	41,6
Білки, г	13,2	17,3	17,7	18,0
Вуглеводи, г	67,7	66,22	11,7	28,1
Вода, г	10,8	6,55	4,7	6,0
Зола, г	1,8	2,89	4,0	6,4
Харчові волокна, г	7,5	20,0	11,8	5,0
Вітамін РР, мг	1,0	0,934	4,5	0,9
Вітамін Е, мг	0,4	1,01	0,25	1,8
Вітамін В ₁ (тіамін), мг	0,5	1,17	0,79	0,9
Вітамін В ₂ (рибофлавін), мг	0,2	0,22	0,25	0,1
Холін В ₄ , мг	40,4	1,494	25,6	8,8
Вітамін В ₅ , мг	1,1	32,2	0,05	0,3

Продовження таблиці 1

Вітамін В ₆ (піридоксин), мг	0,1	0,165	0,79	0,2
Вітамін В ₉ (фолієва кислота), мкг	32,0	52,0	79,0	82,0
Кальцій, мг	52,0	58,0	975,0	1438,0
Калій, мг	362,0	566,0	486,0	719,0
Магній, мг	138,0	235,0	351,0	347,0
Натрій, мг	6,0	4,0	11,0	26,0
Фосфор, мг	410,0	634,0	651,0	870,0
Цинк, мг	3,6	3,11	7,75	7,9
Залізо, мг	4,3	5,41	14,55	9,8
Марганець, мг	3,6	5,63	2,46	6,7
Мідь, мг	0,4	403,0	4,08	1,6
Селен, мкг	28,9	45,2	34,4	13,5

Відповідно до даних, наведених у табл. 1, було передбачено позитивний вплив внесення додаткової сировини в рецептуру грисині за рахунок збагачення їх харчовими волокнами, магнієм, кальцієм, цинком, залізом, міддю та селеном. Потенційні споживачі запропонованих виробів — це жителі міст, які перебувають під впливом стресових чинників і негативних факторів довкілля, тому підвищений вміст харчових волокон, які сприяють виведенню важких металів і радіонуклідів, селену, який бере участь у захисті функцій клітин організму, зокрема проти передчасного старіння, антиоксидантні властивості міді та цинку, значна частка магнію, заліза та кальцію, функція яких полягає у підвищенні опірності організму стресам і захворюванням, є перевагами запропонованої сировини.

Для підтвердження функціонального ефекту від внесення додаткових рецептурних інгредієнтів розраховано хімічний склад нових хлібних виробів і проведено їх порівняння з контрольним зразком (табл. 2). Розрахунок проводили на основі добових норм для жінок першої групи інтенсивності праці.

Таблиця 2. Ступінь забезпечення добової потреби у мінеральних речовинах досліджуваних зразків хлібних паличок

Мінеральні речовини	Контроль		Зразок 1		Зразок 2		Зразок 3		Зразок 4		Добова потреба
	у 100 г виробу	% добової потреби у нутрієнті	100 г виробу	% добової потреби у нутрієнті	100 г виробу	% добової потреби у нутрієнті	100 г виробу	% добової потреби у нутрієнті	100 г виробу	% добової потреби у нутрієнті	
Кальцій, мг	17,0	1,5	32,6	3,0	34,4	3,1	309,5	28,1	448,4	40,8	1100,0
Калій, мг	40,5	2,0	149,1	7,5	210,3	10,5	186,3	9,3	256,2	12,8	2000,0
Магній, мг	3,4	1,0	44,8	12,8	73,9	21,1	108,7	31,1	107,5	30,7	350,0
Натрій, мг	3,7	0,2	5,5	0,4	4,9	0,3	7,0	0,5	11,5	0,8	1500,0
Фосфор, мг	100,4	8,4	223,4	18,6	290,6	24,2	295,7	24,6	361,4	30,1	1200,0
Цинк, мг	1,0	6,8	2,1	14,0	2,0	13,0	3,3	22,3	3,4	22,6	15,0
Залізо, мг	1,4	8,3	2,7	15,9	3,0	17,9	5,8	34,0	4,4	25,6	17,0
Марганець, мг	0,8	0,3	1,9	0,6	2,5	0,8	1,6	0,5	2,8	0,9	320,0

Продовження таблиці 2

Мідь, мг	188,0	20,9	188,1	20,9	308,9	34,3	189,2	21,0	188,5	20,9	900,0
Селен, мкг	14,6	20,9	23,3	33,2	28,2	40,2	24,9	35,6	18,7	26,6	70,0
Харчові волокна, г	2,5	8,3	4,7	15,8	8,5	28,3	6,0	20,1	4,0	13,3	30,0

Встановлено, що внесення додаткових рецептурних інгредієнтів суттєво покращує нутрієнтний склад хлібних виробів. Вміст харчових волокон у розроблених виробках збільшується від 8,3% у контрольному зразку до 13,3—28,3% від добової потреби в розроблених зразках виробів. Також у всіх зразках спостерігається збільшення кількості магнію (до 12,8—31,1% від добової потреби), заліза (до 15,9—34,0% від добової потреби), цинку (13,0—22,6% від добової потреби) та селену (до 40,2% від добової потреби). Додавання кунжуту та маку сприяє збільшенню кальцію (до 28,1% та 40,8% відповідно), а внесення висівків, кунжуту та маку — калію.

Досліджували фізико-хімічні показники якості готових виробів (табл. 3).

Таблиця 3. Фізико-хімічні показники якості готових виробів (n=3, p≥0,95, δ=3...5%)

Показники	Контроль	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4
Масова частка сухих речовин, %	87,0	86,0	86,5	89,0	88,6
Кислотність, град	4,6	5,1	5,3	5,6	5,2
Питомий об'єм виробу, г/см ³	0,03	0,05	0,04	0,03	0,03

Дослідження проводили в умовах кафедри готельно-ресторанної справи Національного університету харчових технологій. Встановлено, що внесення додаткової сировини сприяє незначному збільшенню кислотності та дещо підвищує вологість готових виробів, що, ймовірно, пов'язано з більшою вологоутримувальною здатністю додаткової сировини, порівняно з пшеничним борошном.

Незважаючи на покращення функціональних властивостей розроблених виробів, доцільно було дослідити органолептичні показники якості грисини з додатковою сировиною, порівнюючи їх з вимогами до якості таких виробів у закладах ресторанного господарства (табл. 4).

Таблиця 4. Вимоги до якості готових виробів

Показник якості	Вимоги до якості	Хлібні палички			
		Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4
Зовнішній вигляд	Правильної форми, добре пропечені, естетичні та однакового розміру палички	Правильної форми, добре пропечені	Правильної форми, добре пропечені	Правильної форми, добре пропечені	Правильної форми, добре пропечені
Колір	Світло-коричневий, колір випеченого дріжджового тіста	Світло-коричневий	Світло-коричневий	Світло-коричневий	Світло-коричневий

Консистенція	Хрустка та еластична консистенція	Рівномірно розподілені по всьому виробу вівсяні пластівці	Рівномірно розподілені по всьому виробу вівсяні висівки	Рівномірно розподілене по всьому виробу насіння кунжуту	Рівномірно розподілене по всьому виробу насіння маку
Смак і запах	Аромат свіжого випеченого хліба	Аромат свіжого випеченого хліба	Аромат свіжого випеченого хліба	Аромат свіжого випеченого хліба зі смаком кунжуту	Аромат свіжого випеченого хліба зі смаком маку

Встановлено, що нові види виробів мають добрі органолептичні показники, рівномірне забарвлення, правильну форму, приємний смак і аромат. Досліджені зразки можуть бути рекомендовані до впровадження у закладах ресторанного господарства.

Розрахунковим методом визначили вміст білків, жирів, вуглеводів та енергетичну цінність збагачених виробів (табл. 5).

Таблиця 5. Харчова та енергетична цінність збагачених виробів

На 100 г виробу	Контроль	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4
Енергетична цінність, ккал	218,0	252,0	255,0	271,7	271,1
Білки, г	5,1	6,1	6,8	6,9	6,9
Жири, г	5,8	6,5	6,4	10,6	9,8
Вуглеводи, г	36,1	42,3	42,5	37,3	38,9

Встановили, що збагачення виробів додатковими рецептурними інгредієнтами сприяє збільшенню енергетичної цінності на 15,6—24,3%. Кунжут забезпечує збільшення кількості жирів на 82,6% за рахунок великого вмісту в його складі поліненасичених жирних кислот. Також збільшується частка білків (на 19,6—35,3%), що також є позитивним фактором.

Проведені дослідження та розрахунки дають змогу зробити висновок про доцільність формування пропозиції споживачам, яка міститиме мікс з усіх чотирьох запропонованих видів нових хлібних паличок. Це забезпечить максимальний позитивний ефект при споживанні розроблених виробів.

Висновки

Обґрунтовано можливість розширення асортименту хлібних паличок підвищеної харчової цінності для закладів ресторанного господарства за рахунок внесення додаткової сировини. Встановлено, що використання вівсяних пластівців, вівсяних висівок, насіння маку та кунжуту сприяє поліпшенню органолептичних і фізико-хімічних показників якості готових виробів. Показано, що внесення додаткової сировини сприяє збільшенню в готових виробах частки харчових волокон (до 13,3—28,3% від добової потреби), магнію (до 12,8—31,1% від добової потреби), заліза (15,9—34,0% від добової потреби), цинку (13,0—22,6%), селену (до 40,2%)

та інших мінеральних речовин. Доведено, що внесення додаткової сировини підвищує харчову й енергетичну цінність розроблених виробів. Удосконалені грисини доцільно реалізовувати як мікс у складі закусок і страв у мережі закладів ресторанного господарства європейського спрямування.

Література

Бондаренко, Ю. В., Білик, О. А., Борщова, О. А. (2020). Використання насіння льону золотого у виробництві органічних хлібних паличок спеціального призначення. *Modern scientific researches*, 11, 58—63. Взято з: <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/41573>.

Бондаренко, Ю. В., Білик, О. А., Кочубей-Литвиненко, О. В., Андронович, Г. М. (2020). Насіння льону — рецептурний компонент хлібобулочних виробів. *Наукові праці НУХТ*, 26(4), 178—189.

Демидова, Є. В., Самілик, М. М., Буяло, Є. С. (2024). Перспективи використання порошку *Sorbus aucuparia* у виробництві грисини. Матеріали 90-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті». Київ: НУХТ.

Дробот, В. І., Махинько, В. М., Скотар, О. С. (2016). Використання ізоляту соєвого білка для підвищення харчової цінності хлібних виробів зниженої вологості (хлібних паличок). *Харчова промисловість*, 20, 28—33. Взято з: <http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khp>.

Дробот, В. І., Юрчак, В. Г., Білик, О. А., Бондаренко, Ю. В., Грищенко, А. М., Зінченко, І. М., Фалендиш, Н. О. (2015). *Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів*. Київ: Кондор-Видавництво.

Лисенко, Д. В., Корецька, І. Л. (2018). Використання шавнатової пасти у виробництві хлібних паличок. *Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*, Київ: НУХТ.

Новийтенко, І. В., Малиновський, В. В. (2020). Стан та основні тренди розвитку хлібопекарської промисловості України. *Ефективна економіка*, 11. doi.org/10.32702/2307-2105-2020.11.52.

Пахомська, О. В. (2019). Науковий підхід до створення хлібобулочних виробів функціонального призначення. *Наукові праці НУХТ*, 25(2), 276—283.

Петрова, О. І., Болгова, Н. В., Губа, С. О., Соколенко, В. В., Доденко, А. В. (2022). Наукове обґрунтування використання насіння маку при виробництві сирків кисломолочних. *Вісник Сумського національного аграрного університету: науковий журнал. «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*, Суми: СНАУ, 3(49), 51—57. doi.org/10.32845/msnau.2022.3.8.

Сильчук, Т. А., Сахненко, К. О., Зуйко, В. І. (2020). Шляхи розширення асортименту хлібних виробів для закладів ресторанного господарства. *Наукові праці НУХТ*, 26(1), 188—194.

Сівохіна, Д. Д., Варибрус, В. П., Туз, Н. В. (2022). Розробка рецептури хлібних паличок з нетрадиційної сировини. *Інноваційні технології розвитку харчових і переробних виробництв та ресторанного господарства: наукові пошуки молоді: тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених*, Харків: ДБТУ.

Сіанова, А., Усатюк, С. (2017). Хлібні палички підвищеної біологічної цінності. 83 міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», Київ: НУХТ.

Шевченко, А. О., Літвинчук, С. І., Дробот, В. І. (2023). Вплив вівсяних висівок в поєднанні з фосфоліпідами на перерозподіл структурних груп у тісті та хлібі з пшеничного борошна. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 2(3), 38—50. doi.org/10.46299/ij.isjea.20230203.05.

Шелудько, В. М. (2022). Розширення асортименту хлібних паличок підвищеної харчової цінності. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія «Технічні науки»*, (1), 69—74. doi.org/10.37734/2518-7171-2022-1-11.

Юдичева, О. П., Огороднік, І. В. (2019). Порівняння хімічного складу насіння кунжуту, льону і чаю. *Формування та перспективи розвитку підприємницьких структур в рамках інтеграції до європейського простору: матеріали II міжнародної науково-практичної конференції*, Полтава.

Ященко, В. С., Калініченко, А. О., Конончук, В. М., Арсеньєва, Л. Ю. (2012). Використання білкових збагачувачів і холодної екструзії у технології хлібних паличок. *Здобутки, проблеми та перспективи розвитку готельно-ресторанного та туристичного бізнесу: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції*, Київ: НУХТ.

Bilyk, O., Drobot, V., Bondarenko, Y., Halikova, E. (2017). Research into efficiency of using the complex baking improver "Svizhist" in order to prolong freshness of bran crispbreads. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 11(87), 4—10. doi.org/10.15587/1729-4061.2017.103860.

Conte, P., Pulina S., Del Caro, A., Fadda C., Urgegh, P. P., De Bruno, A., Difonzo, G., Caponio, F., Romeo, R., Piga, A. (2021). Gluten-Free Breadsticks Fortified with Phenolic-Rich Extracts from Olive Leaves and Olive Mill Wastewater. *Foods*, 10(5), 923. doi.org/10.3390/foods10050923.

Givens, D. I., Davies, T. W., Laverick R. M. (2004). Effect of variety, nitrogen fertilizer and various agronomic factors on the nutritional value of husked and naked oats grain. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 113, 169—181. doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.11.009.

Rainero, G., Bianchi, F., Rizzi, C., Cervini, M., Giuberti, G., Simonato, B. (2021). Breadstick fortification with red grape pomace: effect on nutritional, technological and sensory properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(6), 2545—2552. doi.org/10.1002/jsfa.11596.

Sterna, V., Zute, S., Jansone, I., Brunava, L., Kantane, I. (2015). The chemical composition of new oat varieties and breeding lines created in Latvia. *Acta Biol. Univ. Daugavp.*, 15(2), 367—373. doi.org/10.5281/zenodo.12646002.

Uribe-Wandurraga, Z. N., Igual, M., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J. (2019). Effect of microalgae addition on mineral content, colour and mechanical properties of breadsticks. *Food & function*, 10(8), 4685—4692. doi.org/10.1039/C9FO00286C.

MANUFACTURE OF FLOUR PRODUCTS: IMPORTANCE AND GOALS FOR THE FOOD SECURITY OF UKRAINIANS; PRESENT PROBLEMS AND CHALLENGES AND POST-WAR TRANSFORMATION

T. Lebedenko, V. Kozhevnikova, O. Tkachuk

Odesa National University of Technology

V. Yevlash

State Biotechnological University

Key words:

Assortment of flour products

Bakery products

Flour quality control

Regulation of baking properties

Functional flour products

Article history:

Received 19.09.2024

Received in revised form 04.10.2024

Accepted 17.10.2024

Corresponding author:

T. Lebedenko

E-mail:

tatyanalebedenko27@gmail.com

Citation: Лебеденко Т. С., Кожевнікова В. О., Ткачук О. В., Євлаш В. В. (2024). Виробництво борошняної продукції: значення і завдання в продовольчій безпеці українців, проблеми і виклики сьогодення та післявоєнної трансформації. *Наукові праці НУХТ*, 30(5), 183—198.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-16

ABSTRACT

Flour products traditionally take one of the leading places in the nutrition of Ukrainians, they are consumed regularly and by almost all groups of the population. In addition, bread and flour products are an obligatory component in the traditional authentic food system, an integral part of ethnic identification, identity, and national culture. During the full-scale invasion of Russia to Ukraine, food producers faced many problems, and new eating habits were formed among the population: Ukrainians choose cheaper products, due to outages of power, water, and heating, they prefer long-term storage products, cold food, basic products, convenient for consumption "on the go", in shelters, etc. Therefore, bread, flour confectionery, and snacks became the leaders of the most typical food products in extreme conditions.

At the same time, Ukrainian doctors raised the issue of deteriorating health of both adults and children: due to malnutrition, negative changes in eating behavior, an alimentary deficiency of essential amino acids, vitamins, trace elements, and other biologically active substances has been identified. Bread and flour products are included in the list of basic food products, therefore their recipe and technology must comply with the trend of healthy eating, optimization of the composition of daily rations, and the principles of conscious consumption.

The quality of flour products largely depends on the baking properties of flour, fluctuations in which lead to a decrease in quality and require constant adjustment of the parameters of the technological process. At the same time, the requirements for the technological properties of flour required for different groups of products differ significantly. Therefore, fluctuations in the quality of flour, its use for different groups of products requires a comprehensive analysis of grain and flour using modern control methods, the development of individual flour specifications and the formation of recommendations for adjustments and directions of use.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-16

ВИРОБНИЦТВО БОРОШНЯНОЇ ПРОДУКЦІЇ: ЗНАЧЕННЯ І ЗАВДАННЯ В ПРОДОВОЛЬЧІЙ БЕЗПЕЦІ УКРАЇНЦІВ, ПРОБЛЕМИ І ВИКЛИКИ СЬОГОДЕННЯ ТА ПІСЛЯВОЄННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Т. Є. Лебеденко, В. О. Кожевнікова, О. В. Ткачук

Одеський національний технологічний університет

В. В. Євлаш

Державний біотехнологічний університет

Борошняні вироби традиційно займають одне з провідних місць у харчуванні українців, вони споживаються регулярно і практично всіма групами населення. Крім того, хліб і борошняні вироби є обов'язковим компонентом у традиційній автентичній системі харчування, невід'ємною частиною етнічної ідентифікації, самобутності і національної культури. Під час війни перед виробниками харчових продуктів постали нові виклики, а в населення сформувались нові харчові звички: українці обирають більш дешеві продукти, через відключення електроенергії, води, опалення віддають перевагу виробам тривалого зберігання, холодній їжі, базовим продуктам, зручним для споживання «на ходу», в укриттях тощо. Хліб, борошняні кондитерські вироби та снеки стали лідерами найтиповіших харчових продуктів в екстремальних умовах.

При цьому українські медики переймаються питаннями погіршення здоров'я як дорослих, так і дітей, адже через неповноцінність харчування, негативні зміни в харчовій поведінці виявлено аліментарний дефіцит есенціальних амінокислот, вітамінів, мікроелементів та інших біологічно активних речовин. Хліб і борошняні вироби входять до переліку базових продуктів харчування, тому їх рецептура й технологія мають відповідати тренду здорового харчування, оптимізації складу денних раціонів і принципам свідомого споживання.

Якість борошняної продукції значною мірою залежить від хлібопекарських властивостей борошна, коливання яких призводить до зниження якості та потребує постійного коригування параметрів ведення технологічного процесу. При цьому вимоги до технологічних властивостей борошна, необхідні для різних груп виробів, суттєво різняться. З огляду на викладене вище, коливання якості борошна, використання його для різних груп виробів потребує комплексного аналізу зерна й борошна з використанням сучасних методів контролю, розробки індивідуальних специфікацій борошна та формування рекомендацій з коригування і напрямків використання.

Ключові слова: асортимент борошняної продукції, хлібобулочні вироби, контроль якості борошна, регулювання хлібопекарських властивостей, функціональні борошняні вироби.

Постановка проблеми. Борошно, насамперед пшеничне, є основною сировиною для надзвичайно важливої в матеріальному і духовному плані групи продуктів харчування, яка є дуже чисельною, різноманітною за асортиментом, якістю

і об'ємами виробництва, що, відповідно, отримала назву «борошняні вироби».

Борошняні вироби традиційно займають одне з провідних місць в харчуванні українців, вони споживаються регулярно і практично всіма групами населення. Разом з крупами і картоплею, борошняні, насамперед хлібобулочні й макаронні, вироби знаходяться в основі харчової піраміди і, відповідно, є суттєвим джерелом енергії, понад половини вуглеводів та близько 40% рослинного білка, містять низку вітамінів В₁, В₂, В₅, В₉, РР, макро- і мікроелементи та інші БАР (Мороз, 2022). У воєнний час доступність до хлібобулочних виробів — це питання життя і виживання, забезпечення базових потреб кожної людини (Синельник, 2022; Тараненко, 2024). Крім того, хлібобулочні і борошняні вироби, супроводжуючи кожен прийом їжі, мають виконувати низку важливих функцій: регуляторну і мотиваційно-сигнальну (збудження апетиту, посилення секреції травних соків, стимулювання роботи шлунково-кишкового тракту, покращення засвоюваності складових раціонів); можуть проявляти в різній мірі ліпотропну, антиоксидантну, детоксикаційну дію. З точки зору формування затребуваних сучасністю функціональних властивостей і коректування харчової цінності, борошняні вироби є перспективними об'єктами для модифікації складу і властивостей за рахунок проєктування їх рецептур і технологій. Реалізацію вказаних завдань для збагачення денних раціонів дефіцитними макро- і мікронутрієнтами, біологічно активними речовинами здійснюють за рахунок більш повного використання потенціалу традиційної сировини, насамперед зерна і борошна, включення нових інгредієнтів, а також шляхом удосконалення складних взаємозалежних процесів багатостадійної технологічної обробки, яка забезпечує перетворення сировини в продукцію заданої якості (Іоргачова, & Лебеденко, 2015).

Хліб і борошняні кондитерські, кулінарні вироби є обов'язковим компонентом у традиційній автентичній системі харчування багатьох народів, мають сакральне значення в обрядових діях як невід'ємна частина етнічної ідентифікації, самобутності і національної культури. Саме рецептури, технології приготування, якість борошняних виробів, традиції їх споживання великою мірою відрізняють культури різних народів. Сьогодні автентичні, етнічні й екзотичні сорти хліба, борошняних виробів, виготовлені за «давніми», національними технологіями користуються довірою і високим попитом у споживачів як продукція з натуральної природної сировини без синтетичних добавок. Тож одним із пріоритетів у світі і в Україні є відродження і збереження, вивчення і впровадження давніх національних українських та запозичених в інших народів традицій приготування борошняних продуктів (Від куті і просфори до коровай і паляниці. Історія хліба в Україні, 2024).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зазначені завдання лягають на плечі численних підприємств з різними потужностями та умовами виробництва: хлібозаводів, функціонування яких гарантує стабільне і щоденне постачання на ринок соціально значимих хлібобулочних виробів; кондитерських фабрик, що пропонують у значних об'ємах борошняні і цукристі кондитерські вироби, які є обов'язковим атрибутом святкового настрою і насолоди; пекарень, малопотужних, крафтових підприємств, ресторанів, кафе-булочних, частка продукції яких на ринку Європи та України стрімко зростає.

Війна також внесла свої корективи. Як показали соціально-антропологічні дослідження змін і переосмислення практик харчування під час війни, проведені

студентами Київського національного університету імені Тараса Шевченка, хліб, борошняні кондитерські вироби та снеки стали лідерами найтипівіших харчових продуктів в екстремальних умовах, сформувалися нові харчові звички та особливості харчової поведінки (Меню війни: як повномасштабне вторгнення змінює харчові звички українців? — Результати досліджень, 2024; Петренко-Лисак, 2024). Споживання їжі в сучасній Україні характеризується більшою адаптивністю, ніж раніше, зростає акцент на національні продукти і традиції, локальні кухні: естетично оформлені українські страви і продукти створюють атмосферу стабільності, сталості у світі хаосу та невизначеності, викликають відчуття рідного дому та рідного краю. Страви з явно вираженим національним колоритом покращують психологічний стан українців, підвищують емоційний фон, тоді як для закладів харчування важливим є зменшення необхідності тривалих заготівель продуктів, зменшення імпортозалежності тощо (Міносян, 2024).

Інші проблеми, що загострюють питання продовольчої безпеки та безпечності харчових продуктів, — це відключення електроенергії, зростання цін на паливно-мастильні матеріали, коливання курсу валют, застосування імпортних складових, кадровий «голод», складність логістики (Непран та ін., 2022). Населення України з початком війни має неоднаковий стан і проблеми в різних регіонах. В прифронтових областях, та тих, що зазнали окупації, питання продовольчої безпеки є особливо гострими. І, як підтвердила практика, більш стабільними в зазначених умовах стали малі локальні виробники, ремісники (Міносян, 2024; Непран та ін., 2022). Опитування українців показали, що основними базовими продуктами харчування є хліб, борошняні вироби, снеки. Науковці зазначають, що ця група продукції має одне з вирішальних значень для забезпечення добової енергетичної цінності раціону громадян України (Кваша, Вакуленко, & Мороз, 2024).

При цьому повномасштабна військова агресія спричинила негативні процеси, що впливають на роботу підприємств хлібопекарської галузі та виробників борошняної продукції. Так, статистичні дані свідчать, що виробництво хліба та хлібобулочних виробів нетривалого зберігання скоротилося на 15—20%. Але ці дані значно варіюють залежно від віддаленості регіонів від зони бойових дій (Самохвалова, Олійник, & Танаскова, 2024).

Війна загострила і проблеми, пов'язані з доступністю до якісної сировини, насамперед пшеничного і житнього борошна. Як зазначалося в доповіді д. т. н., проф. Жигунова Д. О. на тему «Проблеми і тренди якості зерна і борошна в Україні», зробленій на Форумі «Хлібопекарський бізнес — 2023: поточна ситуація у воєнній Україні», якість українського борошна є низькою, асортимент недостатній для ефективної організації виробництва. Українській пекар працює в умовах постійної невизначеності, коливання хлібопекарських властивостей борошна дуже суттєві. Асортимент борошняної продукції зростає, але виробництво борошна цільового призначення, яке відповідає вимогам організації технологічного процесу, формування якості готової продукції відстає (Бурдейна, 2023). Основні методи коригування якості борошна полягають у застосуванні імпортних ферментних препаратів та інших поліпшувачів (Zhygunov, Marchenkov, & Lebedenko, 2019), через що зростає проблема залежності від імпорту.

Іншими спікерами на Форумі (Бурдейна, 2023) виокремлено такі проблеми: ви-

сокий рівень «гінізації» галузі, проблеми з якістю продукції; застарілі засоби виробництва й технології, їх висока енергоємність і низька рентабельність; суттєве зменшення пропозиції пшениці та жита на українському ринку, низька їх якість; відсутність достатньої нормативної бази; кадрові проблеми, міграція фахівців, призов до ЗСУ; наслідки військових дій — руйнування, енергетичні проблеми, відключення, ціна, транспортування сировини, продукції, логістика тощо.

Ситуація, яка існує сьогодні в державі, для підприємств харчової промисловості в цілому і хлібопекарської галузі зокрема є складною та невизначеною (Кійко, Мельник, & Гавриленко).

Метою дослідження є аналіз стану внутрішнього і зовнішнього середовища, в якому сьогодні функціонують виробники хлібобулочних, борошняних виробів, проблем і ризиків, що загострилися в період війни, а також оцінка актуальних завдань і перспектив розвитку для підвищення стабільності роботи закладів та продовольчої безпеки українців.

Матеріали і методи. Інформаційною базою досліджень є офіційні матеріали Державної служби статистики України, Міністерства аграрної політики та продовольства України, наукові праці, доповіді вітчизняних вчених з питань аналізу асортименту хліба, хлібобулочних та інших борошняних виробів, їх значення в харчовій поведінці українців у воєнний час, проблем технології виробництва, якості та ринку продукції, завдань і перспектив їх вирішення. Використано діалектичний і абстрактно-логічний методи для узагальнення інформації.

Викладення основних результатів дослідження. Важливим індикатором продовольчої безпеки України є доступність населення до базових продуктів споживання, в основі яких є хліб, хлібобулочні та інші борошняні вироби.

Сьогодні українці — це мужня нація, яка воює за свою Батьківщину, прагне в надзвичайно важких соціально-економічних, психологічних умовах зберегти здоров'я, життя своє і своєї родини, не тільки вистояти, а й розвинутися і бути активними. Український бізнес в умовах війни, енергетичної кризи, нестачі людського капіталу прагне вижити, мінімізувати втрати, оптимізувати процеси та використання ресурсів, розробляти нові стратегічні рішення, впроваджувати нові стандарти та вимоги, нові технології та нові продукти (Ідеї та технології, які змінюють ринок їжі, 2023; Мельник, 2023).

Дослідження, проведені компанією Gradus Research до New Food Summit 2024, показали, що практично в половині українців змінилися харчові звички з початком воєнних дій. Ключовими факторами, які впливають на зміну в харчовій поведінці, стали підвищення цін на продукти харчування, зменшення доходів, психологічний стрес та емоційне виснаження. Майже 64% українців обирають більш дешеві продукти, через відключення електроенергії, води, опалення віддають перевагу виробам тривалого зберігання, холодній їжі, базовим продуктам, зручним для споживання «на ходу», в укриттях тощо. До числа таких віднесли хліб і борошняні вироби (Мельник, 2023). При цьому українські медики переймаються питаннями погіршення здоров'я як дорослих, так і дітей, зменшення кількості практично здорових дітей, називають національною трагедією постійно зростаючу кількість дітей з хронічною патологією і дітей-інвалідів. Причинами називають війну, її негативний вплив на умови життя, екологію навколишнього середовища, психоемоційний стан українців, якість продуктів харчування і води, їх безпечність,

вміст ксенобіотиків. Якісний і кількісний склад раціонів, режим харчування впливає на фізичний та інтелектуальний розвиток, але в останні роки у родинях з невеликими доходами, яких з війною стає все більше, через неповноцінність харчування, негативні зміни в харчовій поведінці, виявлено аліментарний дефіцит есенціальних амінокислот, вітамінів, мікроелементів та інших біологічно активних речовин (Нагорна, 2023).

Саме тому, незважаючи на складні часи, потрібно згадати тренди турботи про здоров'я, харчових раціонів і продуктів оптимального складу, поєднання смаку, користі та доступності всім верствам населення. В європейських країнах формуються нові пріоритети при виборі звичних продуктів, споживачі віддають перевагу продуктам, що відповідають ідеї свідомого споживання. Успішними європейськими інноваціями є продукти на рослинній основі, натуральні, веганські, вегетаріанські, без штучних інгредієнтів, органічні, екологічні, які підтримують імунітет, мають антистресовий вплив тощо (Плакіда, Вастьянов, Горшков, Остапчук, & Матюшенко, 2023).

Хліб і борошняні вироби входять до переліку базових продуктів харчування, тому їх рецептура й технологія мають відповідати тренду здорового харчування, оптимізації складу денних раціонів і принципам свідомого споживання.

Виробництво хлібобулочних виробів в Україні забезпечується національними виробниками — потужними хлібозаводами: ПрАТ «Київхліб», ТОВ «Хлібні інвестиції», ТМ «Одеський коровай» та іншими. Поряд з потужними підприємствами значну частку хлібопекарської продукції виробляють окремі приватні пекарні при супермаркетах, кафе-пекарні, ремісні, крафтові та інші виробники. Обсяги їх виробництва зростають (Самохвалова, Олійник, & Танаскова, 2024).

Ситуація в світі дещо відмінна від України. У всьому світі 64% споживачів купують хліб у супермаркеті, 48% споживачів купують продукцію в пекарні. Хоча від 30% до 40% споживачів у всьому світі вважають хлібобулочні вироби крафтового виробництва кращими за ціною (27%), якістю (26%) і смаком (22%), одна третина споживачів у Європі та Північній Америці вважає випічку в магазині кращою за доступністю, свіжістю, зручністю та ціною (Bakery Trends 2023: Global Bread and Bakery Market Overview. Explore the latest bread and bakery trends, including traditional and artisanal bread varieties, 2023).

Як показала війна, великі підприємства — це великі мішені, більш стійкими у важких умовах стали малі виробники, відновлення починається з малих підприємств (Бурдейна, 2023).

Проведений аналіз вказує, що, незважаючи на воєнний стан, сьогодні вітчизняні споживачі цікавляться якісною продукцією, нутриціологи та медики порушують питання харчової цінності, засвоюваності, безпечності, що окреслено в таких трендах хлібопекарського ринку (Why The Rise Of Sustainability Is A Shift In Consumer Conciousness, 2024; Lebedenko, Kozhevnikova, & Kotuzaki, 2019):

- хлібобулочні вироби з подовженим терміном збереження свіжості, що особливо важливо для людей з обмеженим доступом до магазинів, точок харчування, актуальною є гаряча випічка, яка також має антистресовий ефект;

- хлібобулочна продукція з натуральної сировини, органічна, без харчових добавок («чиста етикетка») з традиційними та новими смаками, формами, кольором тощо;

- вироби оздоровчого, спеціального, дієтичного, лікувально-профілактичного призначення, вироби підвищеної харчової цінності, зі скоректованим хімічним складом, зокрема безбілкові, безглютенові, діабетичні, з посиленими антиоксидантними, детоксикаційними, захисними, імуномодулюючими, антистресовими та іншими властивостями;

- вироби у зручному сучасному, екологічному, індивідуальному порційному пакуванні з привабливим дизайном;

- українські національні вироби, етнічна продукція інших народів;

- крафтові, ремісничі, артизанські хлібобулочні та борошняні вироби, продукція на промислових та спонтанних заквасках;

- вироби снекового асортименту та інші, зручні для транспортування, з тривалими термінами зберігання тощо.

Нові тенденції, пов'язані з хлібопеченням в Європі, зосереджені на таких же напрямках, як і в Україні, хоча мають свої особливості:

- розробка нових функціональних хлібобулочних виробів, здатних задовольнити підвищені вимоги споживачів щодо здорового харчування з використанням різних функціональних інгредієнтів;

- подовження терміну придатності продукції, зосереджуючись на уповільненні процесу черствіння і підвищенні мікробної стабільності, використовуючи звичайні та інноваційні технології обробки та консервації.

Основні джерела функціональних інгредієнтів, які використовуються для отримання функціональних хлібобулочних виробів: злаки (пшениця, ячмінь, рис, насіння льону), бобові (соя, ріжкове дерево, люпин, зелена сочевиця), фрукти та овочі (цибуля, артишок, манго, ягоди годжі, яблучні вичавки, вичавки чорної смородини, бананова шкірка, гарбуз), пробіотики, пребіотики (інулін і олігофруктоза) та інші (бджолиний пилок, подорожник, амарант, кавава гуща). Здійснюється пошук традиційних (хімічні консерванти, закваски та молочнокислі бактерії, заморожування, упаковка в модифікованій атмосфері) та інноваційних технологій (обробка надвисоким тиском, імпульсне електричне поле, радіочастотна обробка, активна упаковка), що застосовуються для продовження терміну зберігання.

Споживачі в Європі шукають унікальний та справжній хліб, що призвело до популярності національних традиційних і крафтових сортів хліба. Виробники впроваджують нові смаки, текстури та формати за рахунок використання стародавніх зерен, насіння, лікарських і пряно-ароматичних рослин, трав у рецептурі хліба, а також розробку варіантів хліба без глютену та з низьким вмістом вуглеводів (Bread Promotion Activities in Europe, 2018; Mitelut, Popa, Popescu, & Popa, 2021).

Якість борошняної продукції значною мірою залежить від хлібопекарських властивостей борошна. Як показують проведені дослідження, пшеничне борошно в 2024 р. має знижену ферментативну активність, як і в 2023 році. Коливання якості борошна, використання його для різних груп виробів потребує комплексного аналізу зерна та борошна з використанням сучасних методів контролю, розробки індивідуальних специфікацій борошна і формування рекомендацій з коригування та напрямків використання (Савчук, 2024; Жигунов, 2023).

Незважаючи на багатовікову історію використання людством зернових і понад столітню історію промислового виробництва борошна, борошномельні підприємства як постачальники основної сировини для широкого спектра борошняних виробів, переживають стрімкі зміни, виклики і ризики як технологічному плані, так і з точки зору організації ринку.

Вимоги до якості борошна постійно зростають з огляду відповідності їх технологічних властивостей під конкретних клієнтів і напрямки використання:

I) борошно цільового призначення для приготування окремих груп традиційних борошняних виробів;

II) борошно зі скоректованими харчовою цінністю і фізіологічною дією в технологіях спеціальних виробів, збагачених дефіцитними нутрієнтами, з удосконаленим складом, посиленими захисними властивостями тощо;

III) борошно для сучасних технологій і асортименту (національні, екзотичні вироби, заморожені напівфабрикати, вироби тривалого зберігання, снеки) тощо.

Складність полягає в тому, що в групу «борошняних виробів» входять різні за рецептурою, технологією приготування і якістю хлібобулочні, макаронні, борошняні кондитерські і кулінарні вироби. Борошно для них є основним джерелом технологічно значимих біополімерів і низькомолекулярних сполук, які забезпечують формування належної якості продукції, воно є носієм фізіологічно активних сполук, що зумовлюють її харчову цінність і безпечність. При цьому вимоги до складу, технологічних властивостей борошна, необхідні для забезпечення відповідності отриманої продукції сучасним вимогам для різних груп виробів, суттєво різняться.

При приготуванні дріжджових хлібобулочних і кулінарних виробів відбувається комплекс взаємопов'язаних фізичних, механічних, колоїдних, біохімічних, мікробіологічних процесів, при яких модифікуються складових у ланцюгу «борошно → тісто після замісу → тісто після дозрівання → тістова заготовка → виріб». При цьому функції і технологічні властивості пшеничного борошна полягають у тому, що воно є носієм клейковинних білків — основних структуроутворювачів дріжджового тіста; речовин, що впливають на фізичні властивості тіста, їх зміни протягом технологічного процесу (крохмаль, пентозани, ліпіди, ферменти); джерелом поживних (цукри) і пластичних, стимулюючих речовин (амінокислоти, вітаміни, макро-, мікроелементи), містить гідролітичні ферменти (амілази) для подальшого накопичення живлення, що необхідно для бродильної мікрофлори і в комплексі забезпечує перебіг спиртового і молочнокислого бродіння. Ці процеси зумовлюють біологічне розпушення тіста, накопичення смакових і ароматичних сполук, органічних кислот, підвищення засвоюваності поживних і біологічно активних речовин тощо. Глютен з іншими біополімерами забезпечують поглинання води при формуванні тіста і, відповідно, їх вміст і якість впливають на вихід продукції. Зазначенні вище біополімери внаслідок теплової модифікації під час випікання зумовлюють отримання виробу з характерними м'якушкою і скоринкою. Відповідно, хлібопекарські властивості пшеничного борошна визначаються його силою, водопоглинальною і газоутворювальною здатністю, аволітичною активністю, а також кольором і схильністю до потемніння.

Дріжджове тісто можна готувати на опарах, заквасках і прискореним способом. До рецептури можуть входити цукор і жир, інші інгредієнти від невеликих

дозувань до достатньо високих, що здатні пригнічувати бродіння, змінювати властивості тіста. При цьому тривалість приготування тіста може коливатись від 40...60 хв до 240...300 хв, вологість напівфабрикатів від 41 до 90%, рН від 3,4 до 6,2. Все це великою мірою впливає на перебіг технологічного процесу, висуває вимоги до якості борошна, що в комплексі забезпечує формування необхідної якості продукції.

Про проблеми з відповідністю технологічних властивостей борошна вимогам клієнтів вказують зменшення об'ємів індустріального виробництва хлібобулочних виробів, які складають 70% в загальній структурі борошняних виробів (щорічно майже на 10%) (Кузьо, Косар, & Пагута, 2017). Промислові підприємства більш вимогливі до якості борошна, стабільності технологічних властивостей, оскільки притаманні для хлібозаводів, кондитерських фабрик комплексно-механізовані лінії потребують прогнозованих поведінки борошна, напівфабрикатів, тіста, перебігу процесів, що зумовлюють формування якості продукції. Коливання якості борошна потребують постійного коригування параметрів ведення технологічного процесу та ведуть до зниження якості борошняної продукції.

Зокрема, до основних причин відмови від придбання хлібобулочних виробів відносять зменшення яскравості смаку й аромату продукції, зміни структури м'якушки, її нерівномірність, крихкість, товста скоринка, схильність до швидкого черствіння та мікробіологічного псування, вміст синтетичних добавок. При оцінці борошняних кондитерських виробів у споживачів виникають сумніви в натуральності і безпечності продукції. Це є прямим наслідком зниження технологічних властивостей пшеничного борошна (вмісту та якості клейковини, вмісту пошкоджених зерен крохмалю, активності технологічно значимих ферментів тощо), що використовується, та поширенням підходів до підвищення ресурсоефективності в організації виробництва за рахунок впровадження прискорених технологій і застосування харчових добавок (Шандрівська, & Кузбит, 2024; Шандрівська, & Бурдик, 2024).

Провідні виробники хлібопекарської, борошняної кондитерської продукції до основних складнощів з якістю борошна відносять зниження вимог у чинному ДСТУ 46.004-99 «Борошно пшеничне. Технічні умови», насамперед за вмістом клейковини на 4...5% порівняно з попередніми нормативами. Так, у борошні вищого і 1-го сорту за чинною нормативною документацією вміст клейковини має бути не менше 24 і 25%, коли в попередньому ДСТУ 26574—85 ці значення нормувалися, відповідно, більше 28 і 30%. А при витримуванні борошномелами нижнього порогу значень цього показника неможливо забезпечити нормативний вихід хлібобулочних виробів, правильний перебіг технологічних процесів, формування необхідних фізичних властивостей тіста і якості борошняної хлібної та кондитерської продукції при зростанні конкуренції і вимог з боку споживачів. Це і зумовлює загострення проблем прибутковості, насамперед хлібозаводів. Крім того, обмеження оцінки стану вуглеводно-амілазного комплексу лише числом падіння, його значенням не менше 160 с є недостатнім. Формування якісної продукції з дріжджового тіста можливе за умови числа падіння в борошні в межах 200...300 с, а останніми роками через агрокліматичні зміни та з інших причин на ринку превалює частка борошна з числом падіння вище 360...400 с, тобто заниженою активністю технологічно значимих гідролітичних ферментів (Савчук, 2024;

Жигунов, 2023). У зв'язку з модернізацією виробництва на борошномельних підприємствах доцільним є також контроль за вмістом пошкоджених зерен крохмалю, відсоток яких в різних партіях борошна суттєво коливається, і це великою мірою змінює його поведінку в ході технологічного процесу — перебігу колоїдних, біохімічних, мікробіологічних перетворень складових борошна, формування реологічних властивостей тіста та якості продукції.

Проведений вище аналіз та оцінка європейського досвіду з ефективного використання зерна та борошна підтвердили, що окремі групи борошняних виробів потребують використання борошна з різними технологічними характеристиками, тобто актуальні розширення асортименту, розробка і впровадження технологій борошна цільового призначення для традиційних хлібобулочних, борошняних кондитерських, макаронних виробів (I). Але при цьому виявлена проблема відсутності чітких вимог до технологічних властивостей борошна для різних напрямків використання, узгодження в підходах оцінки якості, поєднання зусиль у вирішенні зазначених завдань у ланці «зерно (сільське господарство → елеваторна промисловість → споживачі зерна) → борошно (борошномельна галузь → споживачі борошна) → борошняний виріб (хлібопекарська, макаронна, кондитерська галузь, ресторанний бізнес)». Обмеження вимогами тільки вмісту і якості клейковини, числа падіння недостатньо, особливо з огляду на сучасні тенденції у змінах якості зерна (нові сорти пшениці, кліматичні та агротехнічні умови вирощування), технологічних схем виробництва борошна (Рибалка, 2011). Необхідне поглиблення теоретичного і методичного підґрунтя для розробки рекомендацій щодо відбору зерна та борошна для тих чи інших виробництв борошняної продукції, більш повний контроль за їх якістю, включення важливих показників, зокрема стан крохмалю, вміст пошкоджених зерен, якість білків і пропозиція ефективних методів їх аналізу. Актуальними є дослідження, спрямовані на підвищення використання потенціалу сировинної бази, наприклад, нових сортів зерна зі специфічними властивостями (безамілозний «Софійка», м'язозерний «Оксана», твердозерний «Кульник» тощо) та побудови технології борошна для формування заданих технологічних властивостей (Рибалка, 2011; Рибалка, Соколов, & Червоніс, 2005).

Жорстка конкуренція між потужними підприємствами та малими пекарнями, кондитерськими цехами і закладами ресторанного бізнесу, обмежена рентабельність масових сортів продукції, поширення поінформованості споживачів, зростання попиту на продукцію з покращеними споживчими властивостями, харчовою цінністю і безпечністю призводять до прагнення підприємств до інноваційного оновлення асортиментного профілю продукції, доповнення традиційних виробів продукцією спеціального призначення, «преміум-класу», екзотичної, артизанської, виготовленої за автентичними, національними, регіональними технологіями, більш зручної для приготування, споживання, зберігання та за іншими напрямками, наведеними на рис. 1 (Кузьо, Косар, & Пагута, 2017; Шандрівська, & Бурдик, 2024).

Сучасна борошномельна галузь, працюючи на споживача, дотримуючись сучасних трендів, потребує розробок і рекомендацій для практичної реалізації технологій борошна функціонального призначення зі скоректованою харчовою цінністю, покращеними фізіологічними властивостями (II) за рахунок використання

нових видів і сортів сировини (Па) (пшениця «Чорноброва», спельта, полба, зерно інших злакових, бобових, олійних та інших культур) та впровадження інноваційних технологій (Пб) цільозмеленого, збагаченого вітамінами, макро-, мікроелементами, поліпшувачами борошна, композитних сумішей, висівок, зародків та продуктів їх переробки (Жигунов, Волошенко, & Хоренжий, 2018; Рибалка, & Литвиненко, 2009).



Рис. 1. Найбільш поширені продуктові інновації на сучасних підприємствах, що виробляють борошняну продукцію

Крім того, впровадження приготування популярних українських (паляниць, калачі) чи запозичених в інших народів (багет, чіабата, шоті, хліб на пару, піта, наан, чапати, лаваш, гамбургер тощо) виробів, їх виробництво потребує борошна з певними технологічними властивостями для національних технологій (Пв), отриманих з пшениці м'якої, твердої або їх суміші з певним вмістом клейковини (білка) заданої якості. Відповідно, необхідне чітке розуміння, за якими критеріями відбирати партії зерна, борошна з нього, як оцінювати їх якість і в яких межах мають бути контрольовані параметри. Такий напрямок набирає обертів в Україні, є цікавим більшою мірою для ресторанного бізнесу, а для промислових підприємств є ефективним важелем залучення споживачів, тому вирішення зазначених питань є надзвичайно актуальним (Кузьо, Косар, & Пагута, 2017).

У ресторанному бізнесі ситуація ускладнюється надзвичайно широким асортиментом борошняної продукції, кулінарних виробів, високою його мобільністю при відсутності лабораторної бази для оцінки якості борошна, напівфабрикатів та борошнених виробів, кваліфікованих спеціалістів для реалізації даних технологій.

Європейській ринок, де культура приготування борошняних виробів ввібрала традиції різних народів і асортимент, нараховує понад 3200 сортів тільки хлібобулочних виробів, для ефективного розвитку випічки в ресторанному бізнесі з'явилася професія «хлібний сомельє». До його фахових компетенцій входить надання рекомендацій щодо вибору сировини (борошна) і контролю за її технологічними властивостями, дотримання технологій, нормування якості продукції, проведення дегустації тощо.

Технолог має точно знати, яким критеріям технологічних властивостей має відповідати борошно для його використання в тому чи іншому напрямку. Для цього в європейських країнах особливу увагу справедливо приділяють сорту зерна, його генетичному потенціалу, оскільки саме генотип великою мірою визначає технологічні властивості виготовлено з нього борошна. Для своєчасного (до початку переробки нового врожаю) отримання інформації щодо показників якості борошна з урожаю зерна поточного року певного сорту та конкретної зони вирощування і розробки рекомендацій щодо використання та прогнозів його поведінки в ході приготування тих чи інших груп борошняних виробів функціонують фахові наукові установи та сертифіковані лабораторії, які проводять щорічний моніторинг якості зерна і борошна, вирощеного в різних регіонах європейських країн. Результати і рекомендації завчасно публікують у спеціальних виданнях, якими і користуються борошномели та виробники борошняної продукції. Такий досвід останніми роками успішно впроваджується і в Україні (Жигунов, 2023; Савчук, 2024).

Крім того, слід зазначити, що в різних країнах світу підходи до контролю якості, класифікації зерна та борошна суттєво різняться і продовжується пошук нових ефективних методів для оцінки їх якості. Розробляється перелік фізико-хімічних показників та обладнання з нормованими значеннями контрольованих величин у вигляді діаграм (фаринограм, екстенсограм, альвеограм, міксограм тощо), що допомагає прогнозувати поведінку борошна при приготуванні тих чи інших виробів, передбачити, які будуть реологічні властивості тіста, інтенсивність перебігу технологічних процесів та якість продукції, що стане підґрунтям при вирішенні питань, для яких цілей ефективніше використовувати те чи інше борошно без наявності власної лабораторної бази (Рисев, 2018).

До проблем на ринку зерна, борошна, борошняних виробів, актуальних для України, є: 1) неналежне приділення уваги ролі сорту зерна, генетичного, екофізіологічного адаптаційного потенціалу; 2) суттєві коливання агрокліматичних умов вирощування — якості ґрунтів, ведення сівозмін, внесення добрив, вплив клімату; 3) ураження зерна клопом-черепашкою, проростання зерна в колосі тощо. Якість зерна змінюється щорічно, залежно від географічного положення та вищезазначених чинників. Для ефективного використання потенціалу зерна, поєднання їх при виробництві борошна в найменш затратні пропорції й ефективні для формування заданої якості необхідне створення щорічних карт якості зерна по регіонах України із зазначенням технологічного борошномельного потенціалу («технологічного паспорта») зерна (Рибалка, Соколов, & Червоніс, 2005).

Але дефіцит «сильної» пшениці (з високим вмістом білка) на вітчизняному ринку, проблеми у вирішенні вищевказаних питань призвели до розвитку іншого

напрямку — коректування технологічних властивостей борошна шляхом внесення поліпшувачів, насамперед сухої пшеничної клейковини та ензимів (Науменко, Богдан, Бела, Полонська, & Гетьман, 2020). Проте така технологія борошна потребує доведення безпечності для людини (відсутності шкідливого, у т. ч. алергенного впливу, ризик яких посилюється широким впровадженням інтенсивних прискорених технологій (Віхрова, Юзьків, Букевич, & Курка, 2022) і технологічної ефективності для приготування борошняних виробів, раціонального підбору комплексів добавок для виключення можливого антагонізму між поліпшувачами, а також зі складовими напівфабрикатів, правильного вибору дозувань, рекомендацій щодо внесення залежно від рецептур, способів приготування, розпушення тіста, його фізико-хімічних характеристик (вологості, температури, рН), механічної, теплової обробки тощо.

Висновки

Борошномельна галузь і виробники борошняних виробів виконують соціально важливу роль — забезпечують українців хлібобулочними, борошняними кондитерськими та кулінарними виробами. При цьому ключовими проблемами, які потребують вирішення, є такі:

- понижені технологічні властивості основної сировини — борошна, суттєві коливання основних показників, що потребує постійного коректування параметрів технологічного процесу, веде до зниження якості, економічних характеристик борошняної продукції;

- недостатня увага до значення сорту пшениці в системі заготівлі продовольчого зерна, необхідність щорічного моніторингу та фіксації його якості, розробки рекомендацій щодо ефективного використання;

- неузгодженість підходів до оцінки якості на всіх ланках «виросування та переробка зерна → виробництво борошна → приготування хлібобулочних, борошняних кондитерських, макаронних, борошняних кулінарних виробів», необхідність поглиблення теоретичної бази щодо потенціалу і вимог до сорту, якості й технологічних властивостей зерна і борошна для використання в різних галузях, розробки технологій борошна цільового призначення, удосконалення методів контролю і стандартизація його якості;

- розробка науково-теоретичної, практичної і нормативної бази в питанні технології і використання борошна з пшениці, у т. ч. цілнзмеленого, інших зернових, зокрема давніх спельти, полби, сучасного сорту Чорноброва, композитних сумішей (з вмістом борошна рису, кукурудзи, гречки, вівса, ячменю тощо) та інших продуктів їх переробки, як інноваційної сировини для оновлення асортименту борошняних виробів зі скоректованими складом, харчовою цінністю (біологічною цінністю, вмістом БАР, безглютенів) та фізіологічною дією (посиленими антиоксидантною, протекторною, стимулюючою роботу шлунково-кишкового тракту тощо);

- встановлення критеріїв і вимог до якості борошна, що дають змогу реалізувати на вітчизняних підприємствах різних потужності й організації виробництва давні автентичні, національні українські та запозичені в інших народів технології борошняних виробів, що є популярним трендом у світі і в Україні;

- перевірка безпечності та ефективності способів покращення, коригування технологічних характеристик борошна на підприємствах з різними умовами виробництва шляхом внесення поліпшувачів — сухої пшеничної клейковини, ферментів, аскорбінової кислоти та інших добавок.

При цьому слід пам'ятати, що борошняні вироби — це надзвичайно важливий у денному раціоні продукт харчування, тому його споживчі характеристики, харчова цінність, вміст і засвоюваність основних поживних і біологічно активних речовин, безпечність, вміст потенційно шкідливих сполук мають бути в центрі уваги споживачів, виробників і нутриціологів. А вирішення цілої низки проблем, що супроводжують отримання борошняних виробів, відповідність їх якості з позицій «цінність — вартість» вимогам усіх учасників їх виробництва, реалізації і споживання можливе лише за умови взаємного розуміння потенціалу і умов виробництва зерна, борошна та борошняної продукції (зокрема, природно-кліматичні, науково-практичні переваги України для вирощування зернових, перспективи оновлення асортименту, впровадження глибокої переробки сировини, удосконалення ресурсоефективних технологій і обладнання тощо), сучасних вітчизняних та світових викликів і ризиків (світове скорочення природних ресурсів і продовольча безпека, зміна клімату, загроза для екосистем і біорізноманіття тощо), вирішення яких потребує поєднання зусиль і збалансування інтересів держави та бізнесу, виробників і споживачів.

Література

Бурдейна, М. (2023). *Хлібопекарський бізнес — 2023: поточна ситуація галузі у воєнній Україні*. Взято з: <https://ya.techmedia.com.ua/news/khlibopekarskyu-biznes-2023-potochna-sytuatsiya-haluzi-u-voynniy-ukrayini>.

Віхрова, А. О., Юзьків, С. Л., Букевич, І. Р., & Курка, М. С. (2022). Обґрунтування спектра застосування ензимів у харчових технологіях. *Chemistry, Technology and Application of Substances*, 5(2), 118—135. <https://doi.org/10.23939/ctas2022.02.118>.

Жигунов, Д. О. (2023). Проблеми і тренди якості зерна і борошна в Україні. Конференція-виставка «Хлібна індустрія»: Вінниця.

Жигунов, Д. О., Волошенко, О. С., & Хоренжий, Н. В. (2018). Порівняльне дослідження показників якості цільнозернового пшеничного та спельтового борошна вітчизняного виробництва. *Зернові продукти і комбікорми*, 18(3), 15—19. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v18i3.1071>.

Юрґачова, К. Г., & Лебеденко, Т. Є. (2015). *Хлібобулочні вироби оздоровчого призначення з використанням фітодобавок*: монографія. Київ: К-Прес.

Кваша, С. М., Вакуленко, В. Л., & Мороз, М. А. (2024). Забезпечення добової енергетичної цінності раціону людини, як індикатора продовольчої безпеки громадян України в умовах військового стану. *Цифрова економіка та економічна безпека*, 1(10), 75—79. <https://doi.org/10.32782/dees.10-13>.

Кійко, В., Мельник, О., & Гавриленко, О. (2023). Хлібопекарська галузь України в умовах воєнного часу. *Товари і ринки*, 1, 27—40. [https://doi.org/10.31617/2.2023\(45\)03](https://doi.org/10.31617/2.2023(45)03).

Кузьо, Н. Є., Косар, Н. С., & Пагута, М. Г. (2017). Дослідження ринку хліба та хлібобулочних виробів України та обґрунтування товарних інновацій виробників на ньому. *Мукачевський державний ун-т. Економіка і суспільство*, 12, 284—291.

Міносян, А. С. (2024). Патерни та особливості харчування українців в умовах війни. Взято з: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/57070/1/2024_Slobozhans_kyu_humanitary-40-53.pdf.

Мельник, Т. (2023). Український бізнес в умовах війни: сучасний стан, проблеми та шляхи вирішення. *Journal of Innovations and Sustainability*, 7(3), 07. <https://doi.org/10.51599/is.2023.07.03.07>.

Мороз, О. (2022). Піраміда здорового харчування і гарвардська тарілка — що й до чого, та як у нас. Взято з: <https://medfond.com/porady/piramida-zdorovogo-harchuvannya-i-garvardskata-rilka.html>.

Нагорна, А. М. (2023). Стан загального та професійного здоров'я населення в глобальному тязарі хвороб в Україні та світі. *Журнал Національної академії медичних наук України*, 29(1—2), 86—99. <https://doi.org/10.37621/JNAMSU-2023-1-2-7>.

Науменко, О. В., Богдан, Г. С., Бела, Н. І., Полонська, Т. А., & Гетьман, І. А. (2020). Шляхи покращення хлібопекарських властивостей борошна. *Продовольчі ресурси*, 8(15), 151—157. <https://doi.org/10.31073/foodresources2020-15-16>.

Непран, М., Куропась, І., Ковальова, О., Притульська, Н., Гаращенко, Н., Коваль, П., ... Старікова, Л. (2022). *Безпека і безпечність харчування під час і після війни*. ГО «Аналітичний центр Аграрного союзу України». Київ.

Петренко-Лисак, А. (2024). Історії про їжу і харчування під час війни: досвід війни. Дослідження. Взято з: https://yizhakultura.com/material/20221003_1928.

Плакіда, О. Л., Вастьянов, Р. С., Горшков, О. В., Остапчук, К. В., & Матюшенко, П. М. (2023). Харчування в сучасних соціально-економічних умовах України як здоров'яформуючий фактор (огляд літератури). *Експериментальна і клінічна медицина*, 92(2), 69—75. <https://doi.org/10.35339/ekm.2023.92.2.pvh>.

Рибалка, О. І. (2011). *Якість пшениці та її поліпшення*. Київ: Логос.

Рибалка, О. І., Соколов, В. М., & Червоніс, М. В. (2005). Звідки починається прогнозована і стабільна якість борошна, а відтак і хліба. *Зерно і хліб*, 3, 14—16.

Рибалка, О. І., & Литвиненко, О. І. (2009). Створення сортів пшениці спеціального використання. *Вісник аграрної науки*, 6, 36—41.

Рисев, К. (2018). Нові прикладні рекомендації та розробки в сфері контролю якості з застосуванням лабораторного обладнання CHOPIN Technologies. Франція: Chopin Technologies SAS, Україна, Одеса: ОНАПТ.

Савчук, Н. (2024). Якість борошна нового врожаю. Взято з: <https://www.zeelandia.ua/news/yakist-boroshna-vrozhayu-2024.pdf>.

Самохвалова, О. В., Олійник, С. Г., & Танаскова, Н. О. (2024). Хлібопекарська галузь: сучасний стан та перспективи повоєнного розвитку. Продовольчі системи України: повоєнне відновлення та забезпечення сталого розвитку, Матеріали Міжнародного науково-практичного форуму. Харків, ДБТУ.

Синельник, І. (2022). Ціна воєнного хліба. Взято з: <https://www.unian.ua/society/cina-voennogo-hliba-novini-ukrajini-11899053.html>.

Тараненко, О. (2022). Звичайний хліб у час війни став символом і надією на виживання. Взято з: <https://harch.tech/2022/12/30/oleksandr-taranenko-zvyčajnyj-hl%D1%96b-u-chas-vijnystav0symbolom-ta-nafie-u-na-vyzyvannia/>.

Шандрівська, О. Є., & Кузбит, І.Б. (2024). Аналіз тенденцій регіонального ринку хліба в період збурень (на прикладі м. Києва та Київської області). *Економіка харчової промисловості*, 2(2), 10-22. <https://doi.org/10.15673/fe.v16i2.2935>

Шандрівська, О.Є., & Бурдик, Х.В. (2024). Конкурентне середовище розвитку підприємств на українському ринку хліба та хлібобулочних виробів в умовах збурень. *Економіка харчової промисловості*, 16(1), 41-52. <https://doi.org/10.15673/fe.v16i1.2889>

Zhugunov, D., Marchenko, D., & Lebedenko, T. (2019). Adjusting flour quality by enzymes: current state, problem, analysis, future development prospects. *Food science and technology*. 13(2), 24—33. <https://doi.org/10.15673/fst.v13i2.1380>.

Lebedenko, T., Kozhevnikova, V., & Kotuzaki, O. (2019). Determining the efficiency of spontaneous sourdough for stabilizing the quality of bread products in bakeries and catering enterprises.

Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4/11(100), 22—35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174289>.

Mitelut, A., Popa, E., Popescu, P., & Popa, M. (2021). Trends in Wheat and Bread Making. In: Trends of innovation in bread and bakery production, 199—226. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821048-2.00007-6>.

(2024). Від куті і просфори до коровая і паляниці. Історія хліба в Україні. Взято з: <https://was.media/2024-05-14-hlib/>.

(2024). Меню війни: як повномасштабне вторгнення змінює харчові звички українців? — Результати досліджень. Взято з: <https://marketer.ua/ua/how-a-full-scale-invasion-is-changing-ukrainians-eating-habits/>

(2024). Ідеї та технології, які змінюють ринок їжі. New food summit 2024. Trends. Technologies. Products. Investments. Взято з: <https://www.newfoodsummit.com.ua/>.

(2023). Bakery Trends 2023: Global Bread and Bakery Market Overview. Explore the latest bread and bakery trends, including traditional and artisanal bread varieties. Взято з: <https://www.innova.marketinsights.com/trends/bakery-trends-2023/>.

(2024). Why the rise of sustainability is a shift in consumer consciousness. Взято з: <https://www.forbes.com/sites/sap/2024/05/14/why-the-rise-of-sustainability-is-a-shift-in-consumer-consciousness/>.

(2018). Bread Promotion Activities in Europe. AIBI, Association Internationale des Boulangeries Industrielles, FEDIMA: Brussels Взято з: <https://www.fedima.org/events/symposiums/81-2018-bread-promotion-activities-in-europe>.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» запрошує вас до публікації наукових праць (<https://sites.google.com/nuft.edu.ua/swnuft>).

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 (npuht@nuft.edu.ua) 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.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті подаються в електронній версії (редактор Microsoft Word, поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5, абзац 0,5).

У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл.

Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані. Обсяг дослідницької статті має бути не менший 20 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). У дослідницькій статті повинно бути проаналізовано не менше 20 джерел. Обсяг оглядової статті має бути не менший 20 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). В оглядовій статті повинно бути проаналізовано не менше 40 джерел.

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) не допускається. Переклад має бути належної якості.

Редакція залишає за собою право на наукове та літературне редагування рукопису.

ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ

1. Індекс УДК.
2. Назва статті (англійською та українською мовами). Не варто формулювати назву статті, яка відображатиме практичні цілі та задачі (наприклад, «Розробка технології, обладнання, схеми автоматизації...» тощо). Назва статті повинна відображати наукові цілі.
3. Ініціали та прізвища авторів англійською та українською мовами.
4. Анотація англійською та українською мовами (приблизно 1800 символів з пробілами). Анотація має бути максимально інформативною, це окремий текстовий документ, у якому лаконічно викладені результати дослідження. Не рекомендується використовувати вирази («...отже, таким чином, на основі проведених експериментальних та аналітичних досліджень нами було встановлено...» тощо), варто одразу надавати конкретні результати. В анотації не можна посилатись на статтю («У статті наведено...»). Не варто обмежуватися констатацією наявності результату у статті, кожний результат потрібно лаконічно описати в анотації. Також слід уникати прямих повторів 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.** Зокрема огляд наукових здобутків зарубіжних вчених. У статті мають бути проаналізовані напрацювання вчених з усього світу. На основі аналізу сучасних статей, зокрема з англійських журналів, має бути доведена актуальність теми у світі, визначені питання, які потребують вирішення, сформульована мета дослідження;

- **Матеріали і методи.** Повинні бути розкриті в достатній мірі, щоб можна було відтворити дослід. Повинні бути посилання на кожний описаний метод (посилання на сучасні статті, де описано метод. Посилання на державні стандарти надавати не варто);

- **Викладення основних результатів дослідження.** Результати досліджень мають бути обгрунтовані, пояснені та порівняні з результатами інших авторів з усього світу. Редакцією не беруться до розгляду статті, у яких констатуються лише результати досліджень без детального пояснення і порівняння, адже така констатація не має наукової цінності. Потрібно навести отримані результати, їх математично-статистичний аналіз, детально пояснити кожен результат (чому саме такий результат — наукове пояснення), і порівняти їх із результатами інших вчених з усього світу. В кінці розділу необхідно навести перспективи подальших наукових досліджень;

- **Висновки.**

7. Після тексту статті в алфавітному порядку наводиться список літературних 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. Наприкінці кожної публікації наводиться ідентифікатор DOI у форматі <https://doi.org/.....>, якщо він є, або посилання на публікацію.

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.

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 Microsoft Office Excel, Origin, Corel Draw. Усі елементи рисунка (типи, товщина і колір ліній, шрифт текстів тощо) мають вільно редагуватись у наявному програмному забезпеченні). Рисунки в растрових форматах (bmp, gif, jpeg, tif) або у форматі pdf не приймаються до розгляду, оскільки не можуть вільно редагуватись. Вимоги до оформлення рисунків: вісь координат — 0,2 мм, без сітки, сам рисунок (наприклад, крива) — 0,35 мм, текст у рисунку — Times New Roman 9,5, ширина рисунка — до 13 см. 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. Індекси 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. Індекси, 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.

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.

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається**. Переклад має бути належної якості.

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, кім. 412,
м. Київ, 01601

Контактні телефони:
міський — (044) 287-92-95, внутрішній — 92-95.
E-mail: npnuht@nuft.edu.ua

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 (<https://sites.google.com/nuft.edu.ua/swnuft>).

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 coauthored) per every issue of the Journal.

The following documents are necessary to be sent to the e-mail address of the journal (npuht@nuft.edu.ua):

- 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.

REQUIREMENTS FOR MANUSCRIPTS

The electronic version should be submitted in a Microsoft Word document (margins of 2 cm, Time New Roman, type size 14, spacing 1.5). 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 number of pages of the research article should be at least 10 (excluding abstracts and references). At least 20 references should be analyzed in the research paper. The length of the review article should be at least 20 pages (excluding abstracts and references). At least 40 references should be analyzed in the review article.

The use of automatic translation for any part of your text (manuscript, abstract, keywords) is not allowed. Translation must be of good quality.

The editors reserve the right to edit the manuscript scientifically and literary.

SEQUENCE OF STRUCTURAL ELEMENTS OF THE MANUSCRIPT

1. UDC index.
2. The title of the manuscript (in English, Ukrainian). It is not necessary to formulate the title of the article that will reflect practical goals and tasks (for example, "Development of technology, equipment, automation schemes..." etc. The title of the article should reflect scientific goals.
3. Initials and Last name of the authors in English, Ukrainian (no more than four authors).
4. An abstract in English, Ukrainian (about 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. It is not recommended to use expressions ("...therefore, on the basis of the experimental and analytical studies we have established..." etc.), it is better to immediately provide specific results. An abstract cannot refer to an article ("The article states..."). You should not limit yourself to stating the presence of a result in the article, each result should be succinctly described in the abstract. Direct repetitions of any parts of the article should be also avoided.
5. A list of key words (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 in particular, a review of the scientific achievements of foreign scientists. 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;
 - **Description of materials and research methods;**
 - **Presentation of the main material;**
 - **Conclusions** and recommendations for further research.

7. A list of references 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. At the end of each reference, the DOI identifier is provided in the format <https://doi.org/.....>, if it is, or a link to the publication. 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. References to own publications should also be limited, as this reduces the scientific value of the article and the author's citation index.

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 Microsoft Office Excel, Origin, Corel Draw 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 5, room 412,
Kyiv, Ukraine, 01601
E-mail: npnuht@nuff.edu.ua