



2024

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 30 № 1

*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 B, room 412
01601 Kyiv, Ukraine

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Minutes of meeting # 6 from 29th of February, 2024

© NUFT, 2023

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 № 6 від 29 лютого 2024 року

© НУХТ, 2023

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор

Editor-in-Chief

Олександр Шевченко

Oleksandr Shevchenko

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Відповідальний секретар

Accountable secretary

Анастасія Шевченко

Anastasiia Shevchenko

канд. техн. наук, доц., Україна

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

Члени редакційної колегії:

Агота Гєдре Райшене

Agota Giedre Raisiene

д-р екон. наук, Литва

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

Атанаска Тенева

Atanaska Teneva

д-р екон. наук, доц., Болгарія

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

Анатолій Заїнчковський

Anatoly Zainchkovskiy

д-р екон. наук, проф., Україна

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

Андрій Маринін

Andrii Marynin

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

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

Браян Мак Кенна

Brian McKenna

д-р техн. наук, проф., Ірландія

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

Валерій Мирончук

Valerii Myronchuk

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Василь Кишенько

Vasyl Kyshenko

канд. техн. наук, проф., Україна

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

Василь Пасічний

Vasyl Pasichnyi

д-р техн. наук, проф., Україна

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

В'ячеслав Іващук

Vyacheslav Ivaschuk

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Віктор Стабніков

Viktor Stabnikov

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Володимир Зав'ялов

Volodymyr Zavialov

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Галина Колісник

Halyna Kolisnyk

д-р екон. наук, проф., Україна

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

Галина Поліщук

Halyna Polishchuk

д-р техн. наук, проф., Україна

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

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

Автоматизація та інформаційні технології

Залозний Р. В., Засць Н. А. Системний аналіз і структура керування аквапонними системами 7

Паровенко М. Д., Смітюх Я. В. Розроблення імітаційної моделі сушварильного апарата із зовнішнім нагрівачем 17

Бондаренко Є. А., Пупена О. М. Практичні підходи до підготовки та створення підсистем ідентифікації стану технологічного обладнання і засобів автоматизації на основі машинного зору та нейромереж 30

Безпека харчових продуктів і виробництв

Дричик М. Ю., Шульга О. С. Система ТАССР для виробництва макаронних виробів за методологією PAS 96:2017 38

Біотехнології

Грищенко М. І., Старовойтова С. О. Економічні, технологічні та нормативні аспекти глікозаміногліканів біотехнологічного походження в сучасній косметології 51

Економіка, менеджмент і маркетинг

Рудова А. Я., Драган О. І. Удосконалення піраміди корпоративної соціальної відповідальності підприємств харчової промисловості 68

Бергер А. Д. Цифрова трансформація бізнесу в компаніях харчової індустрії 81

Механічна та електрична інженерія

Мазуренко О. Г., Декуша Л. В., Іванов С. О. Теплоермоелектричні пристрої вимірювання вологості і температури газових середовищ 91

Балиута С. М., Копилова Л. О., Куєвда Ю. В., Кондрашевський М. С., Романюк В. Т. Синтез інтелектуальної системи оцінки технічного стану обладнання системи електропостачання з фотоелектростанціями та накопичувачами енергії 105

Automation and information technologies

Zaloznyi R., Zaiets N. System analysis and control structure of aquaponic systems 7

Parovenko M., Smitiukh Y. Developing a simulation model of a wort kettle with an external heater 17

Bondarenko Y., Pupena O. Practical approaches to the preparation and creation of subsystems for identification of the state of technological equipment and automation tools based on machine vision and neural networks 30

Food Products and Manufacturing Safety

Drychuk M., Shulga O. TACCP for the pasta production in accordance with the PAS 96:2017 methodology 38

Biotechnologies

Hryshchenko M., Starovoitova S. Economic, technological and regulatory aspects of biotechnologically derived glycosaminoglycans in modern cosmetology 51

Economy, Management and Marketing

Rudova A., Dragan O. Improvement of the pyramid model of corporate social responsibility of the food industry enterprises 68

Berher A. Digital transformation of business in food industry companies 81

Mechanical and Electrical Engineering

Mazurenko O., Dekusha L., Ivanov S. Heatthermo-electric devices for measuring humidity and temperature of gaseous media 91

Baliuta S., Kopilova L., Kuievda Iu., Kondrashevsky M., Romaniuk V. Synthesis of the intellectual system for assessment of the technical condition of electrical supply system equipment with photoelectric plants and energy storage 105

Харчові технології**Food Technologies**

- Чернюшок О. А., Бірюк Ю. В.* Удосконалення технології варених ковбасних виробів з використанням рослинних і молочних білків 119 *Chernyushok O., Biryuk Yu.* Improving the technology of boiled sausages using plant and milk proteins
- Білько М. В., Петровський А. М.* Дослідження ароматичного комплексу та органолептичних характеристик витриманих пивних дистилатів 129 *Bilko M., Petrovskiy A.* Study of the aromatic complex and sensory characteristics of aged beer distillates
- Сімахіна Г. О.* Ранжування кріопротекторів за ефективністю захисту біологічних структур від ушкоджень при низьких температурах 141 *Simakhina G.* Ranking the cryoprotectants by their effectiveness to protect the biological structures from damages under low temperatures
- Заморська І. Л., Смілянець О. В.* Якість харчових продуктів з ягід суниці садової 153 *Zamorska I., Smelyanets O.* Quality of food products from garden strawberry berries
- Тищенко В. І., Божко Н. В., Пасічний В. М., Божко С. Б., Маринін А. І.* Дослідження динаміки окислювальних процесів напівкопчених ковбас у модифікованих оболонках 161 *Tischenko V., Bozhko N., Pasichnyi V., Bozhko S., Marynin A.* Study of oxidative processes of semi-cooked sausages in modified casings

SYSTEM ANALYSIS AND CONTROL STRUCTURE OF AQUAPONIC SYSTEMS

R. Zaloznyi, N. Zaiets

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Key words:

Aquaponic system
System analysis
Graph model
Path matrix
Block diagram

Article history:

Received 08.01.2024
Received in revised form
23.01.2024
Accepted 24.01.2024

Corresponding author:

R. Zaloznyi

E-mail:

blackblackgreygrey@gmail.
com

Citation: Р. В. Залозний,
Н. А. Заєць (2024). Систем-
ний аналіз і структура ке-
рування аквапонними си-
стемами. *Наукові праці*
НУХТ, 30(1), 7—16.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2024-30-1-4

ABSTRACT

The article is devoted to aspects of system analysis of aquaponic systems, in particular, the construction of a graph model. Aquaponics is a complex, integrated system of plant growing and aquaculture, so using systems analysis to identify interactions and relationships between its elements contributes to the development of an effective management system.

Aquaponic system is a closed loop with a lot of variables. A graph model was developed to identify key elements and the relationships between them. The use of a graph model made it possible to construct a path matrix and make conclusions about the complexity of the system from the point of view of system analysis.

A graph model and a block diagram that allows to consider a complex aquaponic system as a discrete one is presented in the article. This approach ensures further optimization of individual technological parameters of the system's operation, which include: temperature, lighting level, oxygen level, impurity concentration, pH and ammonia ion ratio.

A block diagram of the aquaponic system was constructed, which made it possible to consider the complex system as a collection of individual elements. The construction of a graph model and path matrices leads to simplifying the management process and increasing the level of control over each component of the system; carrying out diagnostics and identifying possible failures separately for subsystems and the complex as a whole, which helps to identify problems in a timely manner and avoid spreading to other parts of the system; optimizing the use of resources to ensure optimal efficiency of the entire complex.

Using a systems approach and effective management of aquaponic systems improves their productivity and sustainability, making them attractive for use in sustainable agriculture and aquaculture.

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ І СТРУКТУРА КЕРУВАННЯ АКВАПОННИМИ СИСТЕМАМИ

Р. В. Залозний, Н. А. Засць

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Стаття присвячена аспектам системного аналізу аквапонних систем, зокрема побудові графової моделі. Аквапоніка являє собою складну інтегровану систему вирощування рослин та аквакультури, тому використання системного аналізу для виявлення взаємовпливу та зв'язків між її елементами сприяє можливості розробки ефективної системи керування.

Особливість аквапонних систем полягає в тому, що вони є замкненими циклами з великою кількістю змінних. Для ідентифікації ключових елементів і взаємозв'язків між ними було розроблено графову модель. Використання графової моделі забезпечило можливість побудови матриці шляхів і зробити висновки про складність системи з точки зору системного аналізу.

У статті представлено графову модель і структурну схему, які дають змогу розглянути комплексну аквапонну систему як дискретну. Такий підхід забезпечує подальшу оптимізацію окремих технологічних параметрів функціонування системи, до яких можна віднести: температуру, рівень освітлення, кисню, концентрації домішок, рН і відношення йонів аміаку.

Побудовано структурну схему аквапонної системи, що дало змогу розглядати комплексну систему як сукупність окремих елементів. Побудова графової моделі та матриць шляхів сприяє спрощенню процесу управління і підвищенню рівня контролю над кожною складовою системи; здійсненню діагностики та виявленню можливих відмов окремо для підсистем і комплексу загалом, що допомагає вчасно виявляти проблеми та уникати їх поширення на інші частини системи; оптимізації використання ресурсів для забезпечення оптимальної ефективності всього комплексу.

Використання системного підходу та ефективного керування аквапонними системами підвищує їх продуктивність та стійкість, що робить їх привабливими для використання у сталому сільському господарстві та аквакультурі.

Ключові слова: аквапонна система, системний аналіз, графова модель, матриця шляхів, структурна схема.

Постановка проблеми. Аквапоніка стає все більш популярною та важливою для сталого розвитку сільського господарства та виробництва продуктів харчування. При дослідженні та розробці аквапонних систем важливу роль відіграє системний аналіз, оскільки аквапоніка об'єднує аквакультуру, гідропоніку та циркуляцію води, що створює складну взаємодію між живими організмами, рослинами, водою, добривами та іншими елементами системи. Системний аналіз дає змогу виявити взаємозв'язки та залежності між елементами системи, які можуть бути оптимізовані, щоб підвищити продуктивність та ефективність технологічного процесу, а також виявити потенційні проблеми, причини втрати продуктивності та запропонувати можливі шляхи вирішення цих проблем. Системний аналіз сприяє

прийняттю обґрунтованих рішень щодо управління аквапонною системою, дає змогу оцінити вплив різних факторів на систему, провести сценарний аналіз і зробити прогнози щодо розвитку системи. Оскільки аквапоніка є відносно новою галуззю, яка постійно розвивається та удосконалюється, використання системного аналізу допомагає ідентифікувати можливості для інновацій, виявляти потенційні напрямки розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі дослідження аквакультури та гідропонних об'єктів, а також аквапоніки загалом як комплексного поєднання вищевказаних систем підтверджують, що побудова математичної моделі та проведення системного аналізу є першим кроком на шляху до надійної й ефективної системи керування технологічним процесом.

Більшість праць з досліджуваної тематики присвячена системам керування, що включають у себе системи з використанням Інтернету речей. Так, у (Purwalaksana, Tambunan, & Hutaauruk, 2022; Dawa, Tibon, & Lausa, 2022; Bakar, Nor, Kadiran, & Misnan, 2022) впроваджено систему моніторингу технологічних параметрів у реальному часі, що забезпечило економічність аквапоніки.

Найбільш вагомим параметром в умовах аквапонних систем є гідрохімічні параметри. У (Abbasi, Martinez, & Ahmad, 2021; Taħa, та ін., 2022) проведено огляд основних технологічних аспектів аквапоніки, що разом із впровадженням технології Інтернету речей забезпечує якісне виробництво, а також визначено загальні діапазони підтримання таких параметрів, як рівень рН, температура, освітленість, лужність тощо для більшості рослин і гідробіонтів.

Підтримка оптимальних параметрів для рослин та риби, також впливає на їхнє здоров'я. У (Karimanzira, & Rauschenbach, 2021; Krastanova, Sirakov, Ivanova, & Yarkov, 2022) представлені результати впливу добрив на життя гідробіонтів.

У статті (Pattillo, Cline, Hager, Roy, & Hanson, 2022) описані результати опитувань і визначено фактори, які впливають на дослідження та виробництво. Це проблеми організації та менеджменту, екологічні аспекти та кліматичні особливості регіону, переймання досвіду та загальний доступ до результатів роботи і досліджень, пошук інвестицій, економічний ефект і собівартість, вибір видів живих організмів для аквапоніки та боротьба зі шкідниками і хворобами, людський фактор та інші проблемні аспекти.

Проведений аналіз результатів досліджень свідчить про те, що головною метою наукових зусиль є об'єднання всіх вивчених аспектів з однією загальною метою — досягнення економічної доцільності та збереження енергії. Основний акцент робиться на тому, як оптимізація використання енергії може призвести до зменшення витрат на виробництво та, відповідно, зниження собівартості продукції. Це відкриває перспективи для створення більш доступних продуктів і подолання проблем з доступом до харчових ресурсів у всьому світі.

Мета дослідження: провести системний аналіз і побудувати графову модель структури аквапонної системи.

Матеріали і методи. Системний аналіз дає змогу визначити основні взаємозв'язки в технологічному процесі (Ладанюк, Заєць, & Власенко, 2016). Ефективним інструментом для визначення складності системи є використання графової теорії.

У (Попович, & Ковальчук, 2007; Diestel, 2005) описано основні принципи побудови графів і методика досліджень. Графові моделі дають змогу зобразити складну структуру системи у зрозумілій та зручній формі, яка полегшує розуміння взаємозв'язків та взаємодії об'єктів. Застосовуючи алгоритми графового аналізу, можна виявити ключові елементи, шляхи сполучення, визначати вплив об'єктів на систему тощо. У свою чергу, це дає змогу прогнозувати поведінку системи та виконувати оптимізацію параметрів.

Створення графової моделі можливе лише при ретельному дослідженні структури аквапонних систем. Їхні основні параметри представлені у працях (Taha та ін., 2022; Abbasi, Martinez, & Ahmad, 2021; Sallenave, 2016; Güzel, & Parug, 2013; Ondruska, How, Netolický, Masa, & Teng, 2022).

Загалом, в аквапонних системах можна виділити три основні групи підсистеми, навколо яких і здійснюється функціонування технологічного процесу. Це система аквакультури, система гідропоніки та система керування.

Математичну модель системи керування технологічним процесом можна отримати за допомогою графів. Загалом, під графом розуміють певну множину точок M , які називаються вершинами, і множину непересічних кривих — ребер R . Графова модель аквапоніки є досить актуальним інструментом, оскільки надає можливість візуалізувати й аналізувати зв'язки між різними елементами системи. Оскільки аквапоніка поєднує в собі аквакультуру (вирощування водних організмів) та гідропоніку (вирощування рослин у водному середовищі без ґрунту), управління й оптимізація цієї складної системи може бути викликом.

Графова модель дає змогу відобразити структуру аквапонної системи, виявити залежності між її компонентами, ідентифікувати ключові функціональні елементи та зв'язки між ними, завдяки чому можна проводити аналіз ефективності системи, розробляти стратегії оптимізації, виявляти можливі проблеми та вдосконалювати структуру аквапонічної системи.

Крім того, графова модель може бути використана для комунікації та спільної роботи між фахівцями з аквапоніки, забезпечуючи їхню взаємодію та обмін ідеями з покращення системи. Це візуальне зображення структури системи не лише сприяє розумінню всіх її компонентів, але й створює платформу для обміну ідеями та розробки стратегій щодо вдосконалення функціонування системи.

Викладення основних результатів дослідження. Для системного аналізу аквапоніки використаємо теорію графів як один з методів математичного опису зв'язків між підсистемами. Графові моделі поєднують у собі характеристики графічного та множинного представлення, а також формують допоміжні матриці, які зручно використовувати для аналізу, синтезу й управління.

При дослідженні та системному аналізі технологічних процесів важливою є побудова структурної схеми процесу. На рис. 1 представлена структурна схема аквапонної системи.

Схема включає в себе елементи аквапонної системи, які описані далі, при побудові графової моделі. У системі виділені основні частини: система керування, резервуар з рибою та резервуар з рослинами. Означення базових сигналів представлено таким чином: $L(T)$ — освітлення, $H(T)$ — вологість повітря у резервуарі з рослинами, $WLp(T)$ — рівень рідини у резервуарі з рослинами, $Ta(T)$ — температура повітря в резервуарі з рослинами, $Tr(T)$ — температура води у резервуарі

з рослинами, $O(T)$ — рівень кисню в резервуарі з рослинами, $Wlf(T)$ — рівень води у резервуарі з рибою, $pH(T)$ — рівень pH у резервуарі з рибою, $Tf(T)$ — температура води у резервуарі з рибою, $EC(T)$ — електропровідність рідини на виході резервуару з рибою, що характеризує наявність поживних речовин.

Також у схемі індексами позначені відповідні рівні системи: вхідний сигнал відповідного параметра позначено індексом «1», сигнал контролера на виконавчий механізм позначено «2», вплив виконавчого механізму на об'єкт керування задано «3», зворотний зв'язок кожного параметра системи позначено індексом «4», вихідний стан об'єкта керування — «вих».

Аквапонний комплекс — це складна система, що включає в себе такі елементи:

- 1 — датчик рівня освітленості;
- 2 — датчик кисню;
- 3 — датчик вологості повітря;
- 4 — датчик рівня води рослини;
- 5 — датчик рівня води риби;
- 6 — датчик температури води;
- 7 — датчик температури повітря;
- 8 — датчик провідності води;
- 9 — датчик pH;
- 10 — система штучного освітлення рослин;
- 11 — аератор;
- 12 — система подачі корму;
- 13 — насос прямий;
- 14 — фільтр відходів;
- 15 — біофільтр;
- 16 — насос зворотний;
- 17 — насос зовнішній;
- 18 — підігрів води;
- 19 — підігрів повітря;
- 20 — система подачі додаткових мінералів;
- 21 — зволожувач повітря;
- 22 — резервуар з рибою;
- 23 — система автоматичного керування технологічним процесом;
- 24 — резервуар з рослинами.

Кожна виділена підсистема є важливою складовою аквапоніки. Аналіз цих підсистем сприятиме отриманню більш повного розуміння самого процесу та можливості його регулювання. Шляхом проведення технологічного й структурного аналізу був складений граф структури аквапонної системи (рис. 2), де функціональні елементи є вершинами, а зв'язки між ними позначаються дугами.

Для подальшого визначення основних взаємозв'язків між елементами графа важливо отримати матрицю шляхів.

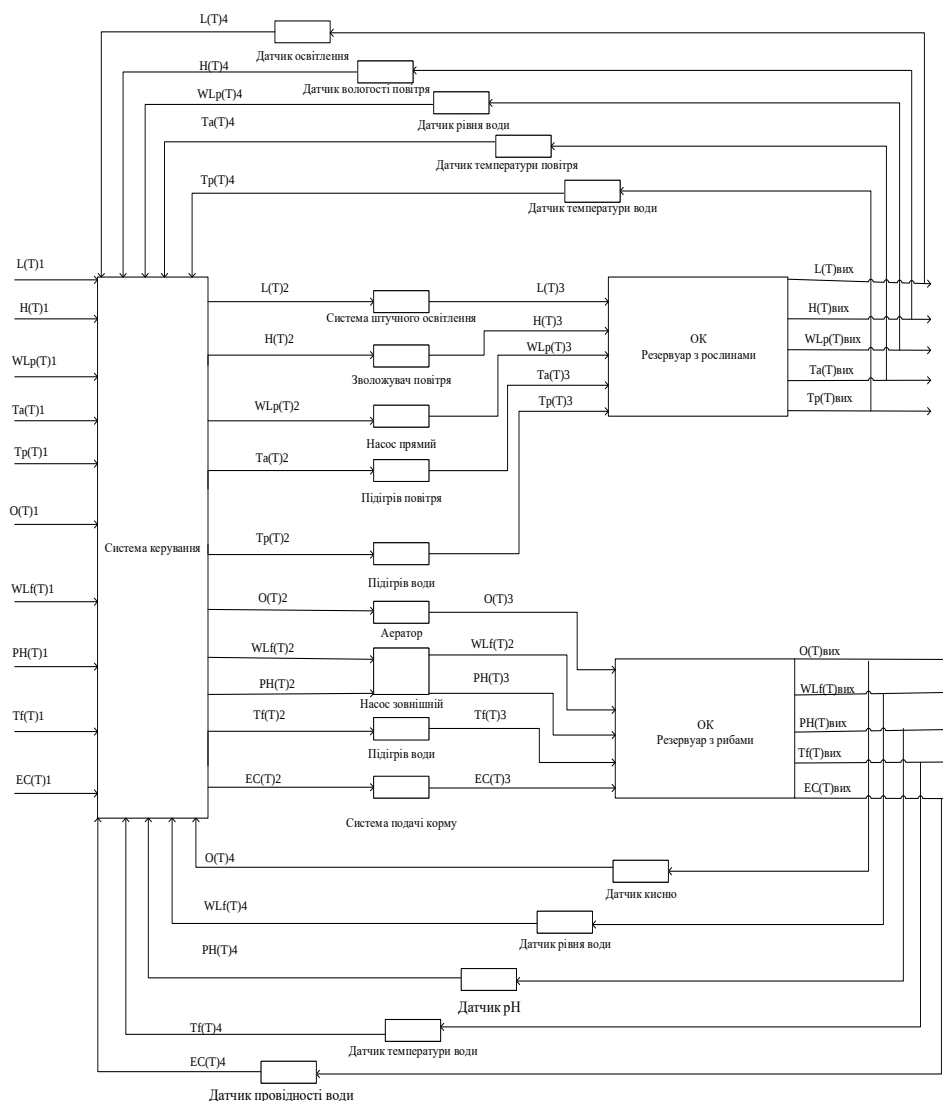


Рис. 1. Структурна схема аквапонної системи

Матриця шляхів створюється квадратною через відповідність кількості елементів. Якщо на графі є шлях з вершини i до вершини j , то на перетині i -го рядка та j -го стовпця ставиться 1, у протилежному випадку — 0.

Оскільки аквапоніка є замкненою системою, то при побудові матриці шляхів недоцільно враховувати вплив системи керування на об'єкт дослідження.

На основі матриці P або графа будується допоміжна матриця S . За допомогою якої можна виділити комплекси та підсистеми аквапоніки. При розгляді графа в основі побудови допоміжної матриці лежить зворотність зв'язків між об'єктами.

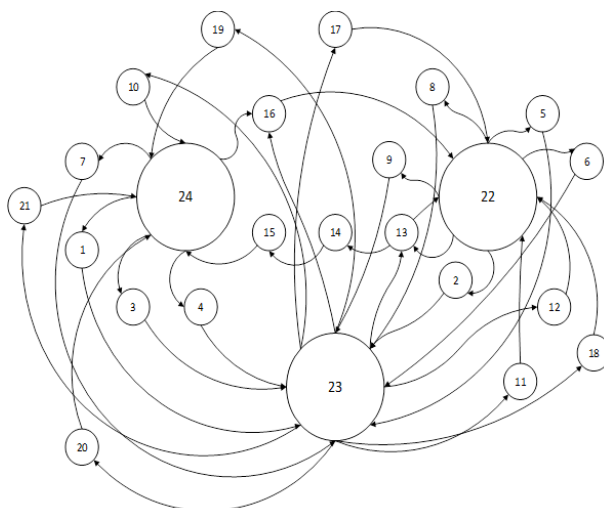


Рис. 2. Графова модель структури аквапонної системи

Таблиця 1. Матриця шляхів Р

		Номер вершини графа, j																							
Номер вершини графа, i		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	22	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	23	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	24	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1

При розгляді матриці шляхів Р допоміжну матрицю S (рис. 2) можна побудувати за формулою 1:

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } p_{ij} = p_{ji} = 1 \\ 0, \text{ в протилежному випадку} \end{cases} \quad (1)$$

Таблиця 2. Допоміжна матриця S

		Номер вершини графа, j																							
Номер вершини графа, i		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Ненульові елементи допоміжної матриці S_{ij} показують вершини, які входять у комплекс. Отже, у складі аквапонної системи можна виділити двадцять одну окрему підсистему та три комплекси: 22 — резервуар з рибою, 23 — система керування, 24 — резервуар з рослинами. Окремі підсистеми, як видно з графа (рис. 2), є незалежними компонентами аквапоніки. Відповідно, підтримання їх параметрів потребує незалежного керування, що ускладнює сам процес, але забезпечує більшу стабільність системи, а з практичної точки зору спростує реалізацію системи керування. Після проведення аналізу графової моделі структури аквапонної системи, матриці шляхів та допоміжної матриці можна зробити висновок, що аквапонна система потребує враховувати вплив окремих елементів підсистеми на ре-

жим роботи всього комплексу, взаємозв'язок між резервуаром з рибою та резервуаром з рослинами, функціонування компонентів, що є складовими частинами обох підсистем і системи керування.

Враховуючи, що 22 та 24 (рис. 2) можуть функціонувати незалежно, саме система керування має компенсувати взаємні збурення та окремі флуктуації.

Висновки

У результаті дослідження було створено графову модель, побудовано структурну схему та матрицю шляхів P з допоміжною матрицею S , що дало змогу провести системний аналіз аквапонної системи як об'єкта керування.

Аналіз дає змогу зробити висновки, що досліджуваний об'єкт є складною системою, яка включає 21 підсистему, комплекс, що включає резервуар з рибою, комплекс, що включає резервуар з рослинами та систему керування. Аналізуючи граф та матриці шляхів, можна реалізувати і практичні аспекти керування, зокрема:

- спростити процес управління та забезпечити кращий контроль над кожною частиною системи;
- проводити аналіз діагностики та виявлення можливих відмов окремо для цих підсистем і комплексу, що допоможе вчасно виявляти проблеми й уникати їх поширення на інші частини системи;
- оптимізувати ресурси для забезпечення оптимального функціонування всього комплексу.

Подальші дослідження аквапоніки передбачають розробку системи керування, що забезпечить оптимальні параметри управління системою та дасть змогу отримати баланс між впливами всіх підсистем на загальний режим функціонування. Системний аналіз аквапонних систем надає можливість визначити основні кроки для забезпечення енергетичної ефективності виробництва: ідентифікація елементів системи, поетапні витрати енергії, оцінка продуктивності, оптимізація, моніторинг систем та управління ними, забезпечення системного підходу.

Література

Ладнюк, А. П., Заєць, Н. А., Власенко, Л. О. (2016). *Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування)*: монографія. Київ: видавництво Ліра-К.

Попович, М. Г., Ковальчук, О. В. (2007). *Теорія автоматичного керування*: підручник. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ: Либідь.

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.

Dawa, M., Tibon, M. R., Lausa, S. M. (2022). Internet of things (IoT) based aquaponics management system adaptive to climate change. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/364792727_Internet_of_things_IoT_based_aquaponics_management_system_adaptive_to_climate_change.

- Diestel R. (2005). Graph T., Electronic Edition. NY: Springer-Verlag.
- 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.
- 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.
- 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.
- Ondruska, V., How, B. S., Netolický, M., Masa, V., Teng, S. Y. (2022). Resource optimisation in aquaponics facility via process monitoring and graph-theoretical approach. Взято з: <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2022.04.003>.
- Pattillo, 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.
- Purwalaksana, A. Z., Tambunan, I. H., Hutaauruk, A. R. (2022). Automation and Monitoring for Aquaponic System Based on NodeMcu, Journal of Technical Engineering: Piston Vol. 5/ No. 2, 72—82.
- Sallenave, R. (2016). Important Water Quality Parameters in Aquaponics Systems Взято з: https://pubs.nmsu.edu/_circulars/CR680/.
- Sunardi, A., Suud, F. I., Agus, N. W., Gunawan, I. (2018). IoT Application on Aquaponics System Energy Optimization, The 2nd International Conference on Energy Sciences (ICES), Bandung, Indonesia, *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1772.
- Taha, M. F., El Masry, G., Gouda, M., Zhou, L., Liang, N., Abdalla, A., Rousseau, D., Qiu, Z. (2022). Recent Advances of Smart Systems and Internet of Things (IoT) for Aquaponics Automation: A Comprehensive Overview. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/362425402_Recent_Advances_of_Smart_Systems_and_Internet_of_Things_IoT_for_Aquaponics_Automation_A_Comprehensive_Overview.

DEVELOPING A SIMULATION MODEL OF A WORT KETTLE WITH AN EXTERNAL HEATER

M. Parovenko, Y. Smitiukh

National University of Food Technologies

Key words:

*Industrial control system
Simulation modeling
Wort boiling
Wort kettle with external
heat exchanger*

Article history:

Received 11.01.2024
Received in revised form
25.01.2024
Accepted 02.02.2024

Corresponding author:

M. Parovenko
E-mail:
cavyheavy@gmail.com

Citation: Паровенко М. Д.,
Смітюх Я. В. (2023). Роз-
роблення імітаційної мо-
делі сушварильного апа-
рата із зовнішнім нагріва-
чем. *Наукові праці НУХТ*,
30(1), 17—29.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2024-30-1-5

ABSTRACT

A study is aimed at developing a comprehensive simulation model of a wort kettle with an external heater. Developed with practicality, this model is aimed at seamless integration into the control system, offering tools for fine-tuning the wort boiling process control program and selecting optimal control algorithms without direct reliance on the physical entity. The simulation model, designed primarily to ease the control system development process, goes beyond its direct intended use. It is anticipated that the model can be effortlessly integrated into decision-support systems and employed in predictive analysis. Moreover, in the era of data-driven modeling, the potential of this simulation model to generate data stands as a valuable resource. Such data might be paramount for training predictive models, bridging the gap between traditional practices and modern data-centric approaches.

In this study, an automation scheme for a wort kettle with an external heater was developed, which highlights potential control strategies. The scheme describes the technological process in terms of process parameters and actuators and is used for identification of equipment units and process variables for simulation modeling.

The implementation of the simulation model of a wort kettle with an external heater based on material balances, its structure, core principles, and potential applications is considered. In future research a roadmap for the multifaceted application of the study's outcomes will be intended. The main results of the study are conventionally divided into the following sections: a general description of the modeling object, a brief overview of the control system, identification of equipment units and process variables for modeling, the development of mathematical models, and structural diagram of the comprehensive simulation model.

РОЗРОБЛЕННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ СУСЛОВАРИЛЬНОГО АПАРАТА ІЗ ЗОВНІШНІМ НАГРІВАЧЕМ

М. Д. Паровенко. Я. В. Смітюх

Національний університет харчових технологій

Стаття присвячена висвітленню результатів дослідження, яке спрямоване на розроблення комплексної імітаційної моделі сусловарильного апарата із зовнішнім нагрівачем. Розроблена з урахуванням практичності, ця модель має на меті плавну інтеграцію в систему керування, пропонуючи засоби для відлагодження програми керування процесом кип'ятіння суслу та вибору оптимальних алгоритмів керування до впровадження системи на фізичному об'єкті. Імітаційна модель, призначена передусім для полегшення процесу розроблення системи керування, виходить за рамки свого безпосереднього призначення. Очікується, що модель можна буде легко інтегрувати в систему підтримки прийняття рішень і використовувати в прогностичному аналізі. Крім того, в епоху моделювання потенціал цієї імітаційної моделі генерувати дані є цінним ресурсом. Такі дані можуть мати першочергове значення при навчанні прогностичних моделей, долаючи таким чином розрив між традиційними практиками та сучасними підходами.

У ході дослідження розроблено схему автоматизації сусловарильного апарата із зовнішнім нагрівачем, яка висвітлює потенційні стратегії керування. Схема описує технологічний процес з точки зору вимірювальних параметрів і виконавчих механізмів для регулювання цих параметрів та використовується з метою виділення апаратів і змінних процесу для імітаційного моделювання.

Також детально розглянуто реалізацію імітаційної моделі сусловарильного апарата із зовнішнім нагрівачем на основі матеріальних балансів, її структуру, основні принципи та перспективні застосування. Автори прагнуть намітити дорожню карту для багатогранного застосування результатів роботи в майбутніх дослідженнях. Викладення основних результатів дослідження умовно поділено на такі розділи: загальний опис об'єкта моделювання, короткий опис системи керування, виділення апаратів і змінних процесу для моделювання, розроблення математичних моделей, структурна схема комплексної імітаційної моделі.

Ключові слова: АСКТП, імітаційне моделювання, технологічний процес кип'ятіння суслу, сусловарильний апарат із зовнішнім нагрівачем.

Постановка проблеми. Пивоварна галузь в Україні розвивається у відповідь на різні фактори, такі як кастомізація продуктів, економічні зрушення, нормативні зміни та розвиток технологій. Технологічний процес кип'ятіння суслу є важливим етапом у пивоварінні, який впливає не лише на кінцеву якість пива, але й на ефективність та енергоспоживання процесу пивоваріння. Незважаючи на те, що сусловарильний апарат із зовнішнім нагрівачем має низку переваг, розроблення ефективних стратегій керування та розуміння динаміки технологічного процесу кип'ятіння суслу вимагає складних інструментів аналізу, тестування, оптимізації

та прогнозування.

Останніми роками імітаційні моделі стали незамінними інструментами для різних застосувань, починаючи від розроблення систем автоматизації та закінчуючи допомогою в процесах прийняття рішень. Вони надають механізми для проникнення в складну динаміку системи без значних ризиків і витрат, пов'язаних з експериментами в реальному часі. Зважаючи на потенціал моделювання в галузі пивоваріння, це дослідження спрямоване на розроблення комплексної імітаційної моделі сусловарильного апарата із зовнішнім нагрівачем. Проблематика дослідження випливає з аргументів щодо важливості такої моделі:

- складність процесу пивоваріння: кип'ятіння суслу — багатогранний процес, що включає різні фізико-хімічні реакції. Вловити ці складнощі в режимі реального часу може бути непросто, тому моделювання стає цінним інструментом для розуміння й оптимізації процесу;
- економічна ефективність: проведення кількох реальних експериментів для оптимізації процесу кип'ятіння суслу може виявитися дорогим з точки зору використаних ресурсів — інгредієнтів, енергії та часу. Імітаційна модель дає змогу проводити численні віртуальні експерименти за рахунок використання мінімальної кількості ресурсів;
- безпека та якість: неправильне керування сусловарильним апаратом може спричинити загрозу безпеці або погіршення якості пива. Моделювання може допомогти виявити потенційні ризики та забезпечити постійну відповідність процесу кип'ятіння суслу стандартам якості;
- проблеми масштабованості: у міру того, як пивоварні заводи розширюють або змінюють свою діяльність, вони можуть зіткнутися з проблемами масштабування своїх процесів. Моделювання може допомогти спрогнозувати, як зміни масштабу можуть вплинути на кип'ятіння суслу;
- інтеграція із системами автоматизації: імітаційна модель сусловарильного апарата може допомогти у розробленні, тестуванні й оптимізації алгоритмів керування до їх впровадження в реальну систему;
- підтримка прийняття рішень: добре розроблене моделювання може бути інструментом підтримки прийняття рішень, надаючи уявлення про те, як різні змінні можуть вплинути на результат;
- генерація даних для подальших досліджень: імітаційна модель може генерувати набори даних, які можна використовувати в інших галузях досліджень, таких як прогнозне моделювання без необхідності проведення великих реальних випробувань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У ході аналізу проблематики, описаної вище, було досліджено значну кількість літератури, яку можна розподілити на кілька категорій (технологічний процес сусловаріння, розроблення автоматизованої системи керування (оптимізація керування), моделювання).

Проблематика дослідження вимагає детального вивчення технологічного процесу сусловаріння. На сьогодні існує велика кількість джерел, у яких комплексно розглядають процеси пивоваріння (Stewart et al., 2017; Eßlinger, 2009, Mosher, & Trantham, 2017; Bamforth, 2016; Hough et al., 2001; Kunze, 2004; Fix, 1999; Narziß

et al., 2017). Вирішення класичних проблем керування технологічними процесами, які є складовими процесу сушловаріння, запропоновано в (Armando, 1997; Seborg, 2019; Stewart et al., 2017). З метою дослідження практик математичного моделювання виробничих процесів, особливо теплообмінників і роботи насосів, було проаналізовано джерела: (Stewart, & Lewis, 2012; Shah & Sekulić, 2003; Hancock, 2014; Fijewski et al., 2019). Принципи моделювання описані в (Thomas, 1999). Деякі підходи щодо моделювання було запозичено з (Pogo et al., 2021), де описано моделювання процесу сушловаріння.

Метою дослідження є розроблення імітаційної моделі сушловарильного апарата із зовнішнім нагрівачем задля її подальшого впровадження в автоматизовану систему керування технологічним процесом кип'ятіння сусла.

Матеріали і методи. Розроблення спрощеної схеми автоматизації об'єкта вимагало застосування класичних підходів автоматизації, що передбачає детальний аналіз процесу, виділення апаратів та змінних процесу для моделювання.

Розроблення математичних моделей на основі матеріальних балансів і розв'язування диференціальних рівнянь методом Ейлера з метою впровадження моделей у програмному забезпеченні для програмованого логічного контролера в ході майбутніх досліджень вимагало застосування чисельних методів. Для означення сталих параметрів імітаційної моделі необхідно було звернутися до теорії теплообміну і чисельних методів.

Викладення основних результатів дослідження. Об'єктом дослідження є сушловарильний апарат із зовнішнім нагрівачем, який забезпечує виконання важливого етапу виробництва пива — кип'ятіння сусла. Отримане в процесі фільтрування сусло кип'ятять протягом 1—2 год з додаванням хмелю. При кип'ятінні сусла до нього переходять гіркі та ароматичні речовини хмелю, одночасно коагулюють білки. Кінцевим продуктом після стадії кип'ятіння є гаряче охмелене сусло (Kunze, 2004).

Відфільтроване сусло температурою 95—97 °C подається у сушловарильний апарат. Коли сусло в апараті досягає заданого рівня (рецептурний параметр, приблизно 15%), розпочинається циркуляція сусла через зовнішній нагрівач, кожухотрубний теплообмінник, який забезпечує нагрівання сусла сухою насиченою парою тиском 3 бари. При цьому сусло постійно відбирається з нижньої частини сушловарильного апарата і перекачується насосом через зовнішній нагрівач. Сусло циркулює 7—8 разів на годину.

У результаті сусло кип'ятять 50—60 хв при температурі 103—106 °C. Ступінь випаровування при кип'ятінні з використанням низького надлишкового тиску становить близько 6%. Необхідний для підвищеної температури кипіння надлишковий тиск (0,1—0,3 бара) досягається за допомогою:

- клапана для скидання тиску, що встановлюється перед впуском сусла в сушловарильний апарат;
- підвищення кількості обертів насоса.

Різниця між температурою пари й температурою сусла не повинна перевищувати при цьому 10 градусів.

Процес кип'ятіння сусла триває, як правило, 50—60 хв і при «класичному» кип'ятінні з низьким надлишковим тиском передбачає такі етапи:

- нагрівання до 100 °С приблизно за 15 хв;
- попереднє кип'ятіння при 100 °С близько 10 хв;
- нагрівання до 102—104 °С за 10—15 хв;
- кип'ятіння під тиском при 102—104 °С близько 15—30 хв;
- скидання тиску та зниження температури до 100 °С приблизно за 15 хв;
- подальше кип'ятіння при 100 °С близько 10 хв (Kunze, 2004)

На певному етапі додають хміль (коли додавати — рецептурний параметр). Хміль можуть додавати більше, ніж один раз. Це залежить від рецептури, тому варіації повинні бути передбачені системою керування. Передбачається ручне додавання хмелю, відкриваючи кришку сушварильного апарата. Після завершення кип'ятіння (по часу — рецептурний параметр), сусло подається у вірпул.

У ході дослідження після аналізу об'єкта керування було розроблено схему автоматизації сушварильного апарата із зовнішнім нагрівачем, оскільки метою є розроблення імітаційної моделі і використання її передусім для тестування й оптимізації керування, а також потенційно в задачах підтримки прийняття рішень у подальших дослідженнях. Схема автоматизації розроблена, на цьому етапі, є наближеною і висвітлює потенційні стратегії керування. Першочергове завдання схеми — описати технологічний процес з точки зору вимірювальних параметрів і виконавчих механізмів для регулювання цих параметрів. Спрощена схема автоматизації наведена на рис. 1.

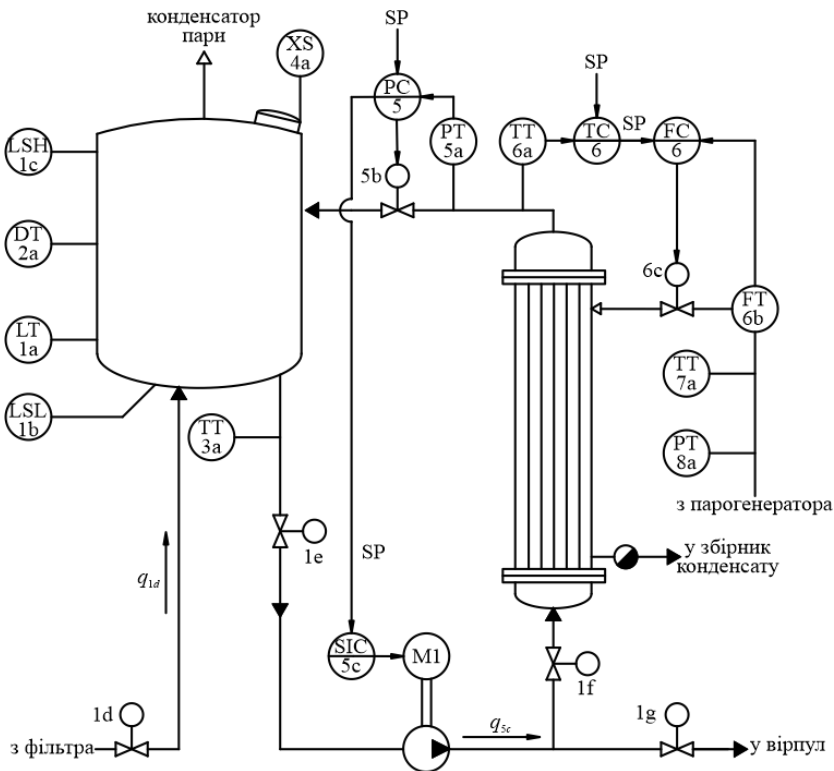


Рис. 1. Спрощена схема автоматизації

Система керування повинна забезпечувати інтерфейс для збору даних від різних датчиків, які впливають на процес кип'ятіння.

Таблиця 1. Перелік вхідних сигналів підсистеми кип'ятіння суслу

LT1a	Рівень у сусліварильному апараті
DT2a	Густина суслу
TT3a	Температура на виході сусліварильного апарата
PT5a	Тиск пари на виході нагрівача
TT6a	Температура на виході нагрівача
FT6b	Витрата сухої насиченої пари
TT7a	Температура сухої насиченої пари
PT8a	Тиск сухої насиченої пари
LSL1b	Сигналізатор нижнього рівня сусліварильного апарата
LSH1c	Сигналізатор верхнього рівня сусліварильного апарата
XS4a	Кінцевик кришки сусліварильного апарата

Система керування повинна забезпечувати інтерфейс для керування виконавчими механізмами та надавати швидкий відгук про стан виконавчих механізмів.

Таблиця 2. Перелік механізмів

5b	Баростатичний клапан на виході нагрівача
6c	Клапан подачі пари у нагрівач
SIC5c	Частотний перетворювач двигуна циркуляційного насоса M1
1d	Клапан 1d набору сусліварильного апарата відкрити/закрити
1e	Клапан 1e зливу сусліварильного апарата відкрити/закрити
1f	Клапан 1f набору у нагрівач відкрити/закрити
1g	Клапан 1g зливу у вірпул відкрити/закрити

У процесі дослідження було реалізовану комплексну імітаційну модель сусліварильного апарата із зовнішнім нагрівачем, спрощена схема автоматизації якого наведена на рис. 1. Імітаційна модель об'єкта включає набір взаємопов'язаних моделей окремих компонентів:

- клапанів **1d**, **1e**, **1f**, **1g**, **6c**. Імітаційні моделі клапанів НЕ є здобутком роботи, яка висвітлюється у статті. Автори використали готові моделі клапанів, описані в

(Пупена, 2023а). Модель клапана передбачає імітацію коефіцієнта витрати клапана K_f та станів «Відкритий/Закритий»;

- циркуляційного насоса **M1**, яким керує частотний перетворювач **SIC5c**.

Модель насоса передбачає імітацію витрати насоса;

- сусліварильного апарата. Модель передбачає імітацію вимірювальних параметрів:

- рівень у сусліварильному апараті **LT1a**;
- сигналізатор нижнього рівня сусліварильного апарата **LSL1b**;
- сигналізатор верхнього рівня сусліварильного апарата **LSH1c**;
- температура на виході сусліварильного апарата **TT3a**.
- зовнішнього нагрівача. Модель передбачає імітацію температури на виході нагрівача **TT6a**.

Розроблена модель передбачає часткову імітацію процесу кип'ятіння суслу, оскільки включає імітацію обмеженої кількості змінних процесу.

Розроблення математичної моделі сусліварильного апарата. Рівень суслу — **LT1a**. Для імітації рівня суслу в сусліварильному апараті були зроблені такі припущення:

1. Густина суслу після фільтра та після теплообмінника рівні.
2. Насос **M1**, який управляється частотним перетворювачем **5c**, запускається, якщо клапан **1e** повністю відкритий, а мінімальний рівень у сусліварильному апараті $15 \pm 5\%$, щоб досягти необхідного тиску рідини на циркуляційний насос **M1**.
3. Вхідна витрата перед клапаном **1d** постійна (на етапі набору) та забезпечується ділянкою фільтрування суслу.
4. Опір системи (імпеданс потоку) для ділянок трубопроводів між насосом **M1** та клапаном **1f**; між насосом **M1** та клапаном **1g** однаковий.
5. Сусліварильний апарат — циліндрична ємність.
6. Сусліварильний апарат має два вхідних потоки: витрата суслу після фільтра F_{in1} та вхідна витрата після нагрівача F_{in2} ; один вихідний потік, який роздвоюється на два маршрути: вихідна витрата у нагрівач F_{out1} , вихідна витрата у вірпул F_{out2} . Матеріальний баланс для сусліварильного апарата:

$$\frac{dV \cdot \rho}{dt} = F_{in1}(t) \cdot \rho + F_{in2}(t) \cdot \rho - F_{out1}(t) \cdot \rho - F_{out2}(t) \cdot \rho. \quad (1)$$

Скоротивши вираз та застосувавши метод Ейлера, отримаємо:

$$V_{n+1} = V_n + \Delta t \cdot (F_{in1} + F_{in2} - F_{out1} - F_{out2}), \quad (2)$$

де

$$F_{in1} = a_1 \cdot q_{1d}; \quad (1)$$

$$F_{in2} = \frac{a_2 \cdot a_3 \cdot q_{5c}(t - \tau)/3600}{a_3 + a_4}; \quad (2)$$

$$F_{out1} = \frac{a_2 \cdot a_3 \cdot q_{5c}/3600}{a_3 + a_4}; \quad (3)$$

$$F_{out2} = \frac{a_2 \cdot a_4 \cdot q_{5c}/3600}{a_3 + a_4}, \quad (4)$$

де a_1 — коефіцієнт витрати K_f клапана **1d**; q_{1d} — витрата при повному відкритті клапана **1d**, м³/с; $a_2 = 1$ — якщо клапан **1e** повністю відкритий та 0 — якщо не відкритий; q_{5c} — витрата створювана насосом **5c**, м³/год; a_3 — коефіцієнт витрати K_f клапана **1f**; a_4 — коефіцієнт витрати K_f клапана **1g**; τ — час проходження суслу через нагрівач, с.

Матеріальний баланс дає змогу виразити поточний об'єм суслу. Рівень у сусліварильному апараті, який згідно з припущенням 5 є циліндричною ємністю, буде виражатися формулою:

$$L(t) = \frac{V(t)}{S}, \quad (7)$$

де S — поперечний переріз сусліварильного апарата, м².

Для практичної реалізації моделі необхідно означити деякі параметри, такі як константи, що задовольняють означені припущення, постійні налаштування клапанів та насоса:

- q_{1d} — постійна витрата перед клапаном **1d** згідно з припущенням 3. Цю константу необхідно означити перед моделюванням;
- q_{5c} — витрата створювана насосом **5c** залежно від заданого значення швидкості обертів двигуна насоса. Модель насоса, реалізована в рамках пропонованого дослідження та описана далі. Модель насоса передбачає означення констант: витрата, напір і потужність при максимальній швидкості обертів.

Коефіцієнти витрати клапанів a_1 , a_3 , a_4 генеруються на основі моделей описаних у (Пупена, 2023а). Для клапанів **1d**, **1e**, **1f**, **1g** прийнято лінійну характеристику регулюючого органу, перед моделюванням необхідно означити час повного відкриття для кожного клапана;

- τ — час проходження суслем шляху від точки відбору суслу із сусліварильного апарата до точки подачі суслу після нагрівача. Передбачається, що це стала величина, яка має бути означена перед моделюванням;
- S — поперечний переріз сусліварильного апарата. Стала величина, яка має бути означена перед моделюванням.

Розроблення математичної моделі сусліварильного апарата. Сигналізатори верхнього та нижнього рівнів — LSH1c, LSL1b. Імітація сигналізаторів верхнього та нижнього рівнів проводиться відносно максимального об'єму суслу в сусліварильному апараті:

$$LSH = \begin{cases} 1, & \left(\frac{V(t)}{V_{\max}} \right) > 0,9; \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (8)$$

$$LSL = \begin{cases} 1, & \left(\frac{V(t)}{V_{\max}} \right) > 0,001, \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (9)$$

де $V(t)$ — поточний об'єм суслу в сусліварильному апараті, який виражається через матеріальний баланс для сусліварильного апарата за формулою (2); $V_{\max}$ — максимальний об'єм, який може займати сусло в сусліварильному апараті, сталий параметр моделі.

Розроблення математичної моделі сусліварильного апарата. *Температура на виході сусліварильного апарата — ТТ3а.* Для імітації температури суслу на виході сусліварильного апарата були зроблені такі припущення:

1. Густина суслу після фільтра та після теплообмінника рівні.
2. Вхідна температура суслу після фільтра постійна (на етапі набору), дорівнює 95 °С та забезпечується ділянкою фільтрування суслу.

Безпосередньо в сусліварильний апарат не подається теплоагент, тому температура на виході сусліварильного апарата буде залежати від вхідних витрат та відповідних вхідних температур і задовольняти матеріальний баланс:

$$\frac{dV \cdot \rho}{dt} = F_{in1}(t) \cdot \rho + F_{in2}(t) \cdot \rho - F_{out}(t) \cdot \rho, \quad (10)$$

де $F_{out}(t)$ — один вихідний потік, який роздвоюється на два потоки F_{out1} та F_{out2} . У контексті моделювання температури розглядаємо його як один потік з температурою на виході сусліварильного апарата **ТТ3а**.

Перепишемо рівність у вигляді:

$$\frac{d(V \cdot T)}{dt} = F_{in1}(t) \cdot T_{in1}(t) + F_{in2}(t) \cdot T_{in2}(t) - F_{out}(t) \cdot T(t). \quad (11)$$

Застосувавши метод Ейлера, рівняння буде мати вигляд:

$$V_{n+1} \cdot T_{n+1} = V_n \cdot T_n + \Delta t \cdot (F_{in1} \cdot T_{in1} + F_{in2} \cdot T_{in2} - F_{out} \cdot T_n), \quad (12)$$

звідки

$$T_{n+1} = \frac{V_n}{V_{n+1}} \cdot T_n + \frac{\Delta t}{V_{n+1}} \cdot (F_{in1} \cdot T_{in1} + F_{in2} \cdot T_{in2} - F_{out} \cdot T_n). \quad (13)$$

Значення F_{in1} , F_{in2} розраховуються за формулами (3), (4) враховуючи, що $F_{out} = F_{out1} + F_{out2}$; T_{in1} — постійна температура суслу після фільтра, яка дорівнює 95 °С згідно з припущенням 2; T_{in2} — модельована температура суслу після нагрівача **ТТ6а**.

Розроблення математичної моделі нагрівача. *Температура на виході нагрівача — ТТ6а.* Для імітації температури суслу на виході нагрівача (кожухотрубний теплообмінник) були зроблені такі припущення:

1. Вхідна температура сухої насиченої пари постійна та дорівнює 115 °С.
2. Вхідна витрата сухої насиченої пари перед клапаном **6с** постійна.

Імітаційна модель температури на виході нагрівача **ТТ6а** зроблена на основі моделі, описаної в (Пупена, 2023b) в пункті «Імітація температури в теплообміннику»:

$$T_{n+1} = T_n + \frac{\Delta t}{V_{heat}} \cdot \left(F \cdot (T_{in} - T_n) + \frac{U \cdot S_{heat}}{\rho \cdot c} \cdot (T_{a(n)} - T_n) \right); \quad (14)$$

$$T_{(a)n+1} = T_{(a)n} + \frac{\Delta t}{V_a} \cdot \left(F_a \cdot (T_{(a)in} - T_{(a)n}) + \frac{U \cdot S_{heat}}{\rho_a \cdot c_a} \cdot (T_{a(n)} - T_n) \right), \quad (15)$$

де $T_{(n+1)}$ — поточна температура суслу у нагрівачі; $T_{(a)n+1}$ — поточна температура пари у нагрівачі; V_{heat} — максимальний об'єм, який може займати сусло в теплообміннику; V_a — максимальний об'єм, який може займати пара в теплообміннику; F — вхідна витрата суслу, яка дорівнює F_{out1} та розраховується за формулою (5);

F_a — вхідна витрата пари, яка регулюється клапаном **6с**; T_{in} — модельована температура на виході із сушловарильного апарата **ТТ3а**; $T_{(a)in}$ — постійна температура вхідної сухої насиченої пари **ТТ7а**, яка дорівнює 115 °С згідно з припущення м1; U — коефіцієнт теплопередачі; S — площа поверхні теплообміну; ρ — густина суслу; ρ_a — густина пари при 3 бар; c — теплоємність суслу; c_a — теплоємність пари;

$$F_a = a_5 \cdot q_{6c}, \quad (16)$$

де a_5 — коефіцієнт витрати K_f клапана **6с**; q_{6c} — витрата при повному відкритті клапана **6с**, м³/с.

Коефіцієнт витрати клапана a_5 генерується на основі моделі описаної в (Пупе-на, 2023а). Для клапана **6с** прийнято рівнопроцентну характеристику регулюючого органу (загальна практика для теплообмінників). Перед моделюванням необхідно означити час повного відкриття клапана.

Розроблення математичної моделі циркуляційного насоса. Імітаційна модель насоса базується на законах подібності (affinity laws) для насосів. Набір співвідношень, відомий як закони подібності, дає змогу передбачити продуктивність відцентрового насоса для швидкості, відмінної від тієї, для якої відома характеристика насоса (Karassik, & McGuire, 1998). Згідно з цими законами:

$$Q = Q_1 \cdot \frac{n}{n_1}; \quad (17)$$

$$H = H_1 \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right)^2; \quad (18)$$

$$P = P_1 \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right)^3, \quad (19)$$

де n — задана (нова) швидкість обертів, грм; Q — витрата при заданій швидкості обертів n , м³/год; H — напір при заданій швидкості обертів n , м; P — потужність при заданій швидкості обертів n , кВт; n_1 — швидкість обертів, для якої відомі характеристики насоса. Як правило, для конкретного насоса згідно з його специфікацією відомі такі характеристики: витрата, напір і потужність при максимальній швидкості обертів i , відповідно, у формулах (17), (18), (19) позначаються як Q_1 — відома витрата при швидкості n_1 ; H_1 — відомий напір при швидкості n_1 ; P_1 — відома потужність при швидкості n_1 .

Таблиця 3. Параметри імітаційної моделі (частина 1)

Позначення	Опис	Наближені значення для кип'ятіння 10 м ³ суслу
q_{1d}	Постійна витрата після фільтра, м ³ /с	0,017 м ³ /с
Q_1	Витрата циркуляційного насоса при максимальних обертах, м ³ /год	132 м ³ /год
H_1	Напір циркуляційного насоса при максимальних обертах, м	24,5 м

P_1	Потужність двигуна циркуляційного насоса при максимальних обертах, кВт	7,5 кВт
n_1	Максимальні оберти двигуна циркуляційного насоса, rpm	1450 rpm
	Час проходження сушом шляху від точки відбору суслу із сушоварильного апарата до точки подачі суслу після нагрівача, с	20 с
S	Поперечний переріз сушоварильного апарата, м ²	2,7 м ²
T_{in1}	Постійна температура суслу після фільтра, °C	95 °C
q_{6c}	Постійна витрата сухої насиченої пари у теплообмінник, м ³ /с	0,09 м ³ /с
$T_{(a)in}$	Постійна температура вхідної сухої насиченої пари, °C	115 °C

Таблиця 4. Параметри імітаційної моделі (частина 2)

V_{heat}	Максимальний об'єм, який може займати сушло в зовнішньому нагрівачі, м ³	0,08 м ³
V_a	Максимальний об'єм, який може займати пара в зовнішньому нагрівачі, м ³	0,41 м ³
U	Коефіцієнт теплопередачі теплообмінника, кВт/м ² /°C	1,57 кВт/м ² /°C (загальна практика (Hancock, 2014))
S_{heat}	Площа поверхні теплообміну, м ²	13,31 м ²
ρ	Густина суслу, кг/м ³	1032 кг/м ³
c	Теплоємність суслу, кДж/(кг*К)	4 кДж/(кг*К)
ρ_a	Густина пари при 3 bar, кг/м ³	1,651 кг/м ³
c_a	Теплоємність пари, кДж/(кг*К)	2,2 кДж/(кг*К)

Параметри та структурна схема імітаційної моделі. Імітаційна модель передбачає означення деяких сталих величин відповідно до конструктивних особливостей апаратів, а також застосування деяких припущень.

Імітаційна модель є комплексом з кількох імітаційних моделей, які впливають одна на одну. Структурна схема розробленої комплексної імітаційної моделі наведена на рис. 2 і 3.

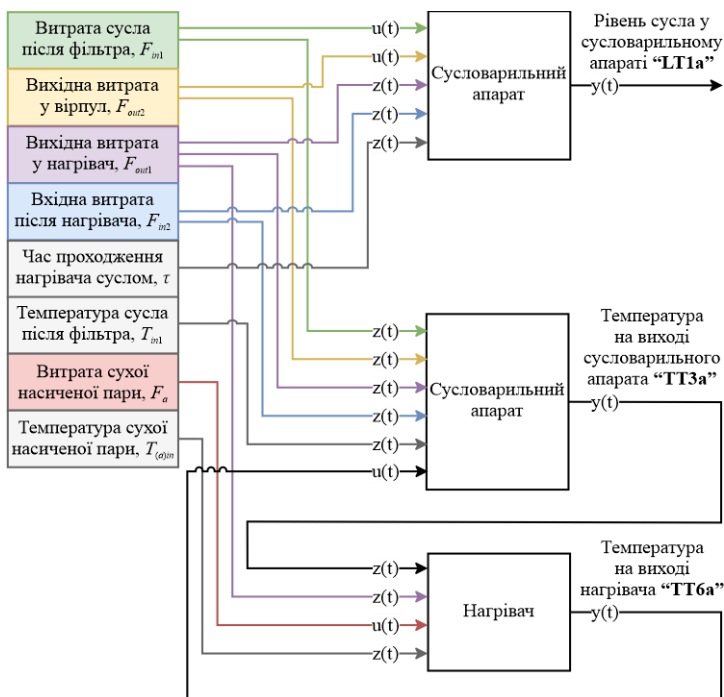


Рис. 2. Структурна схема моделі (частина 1)

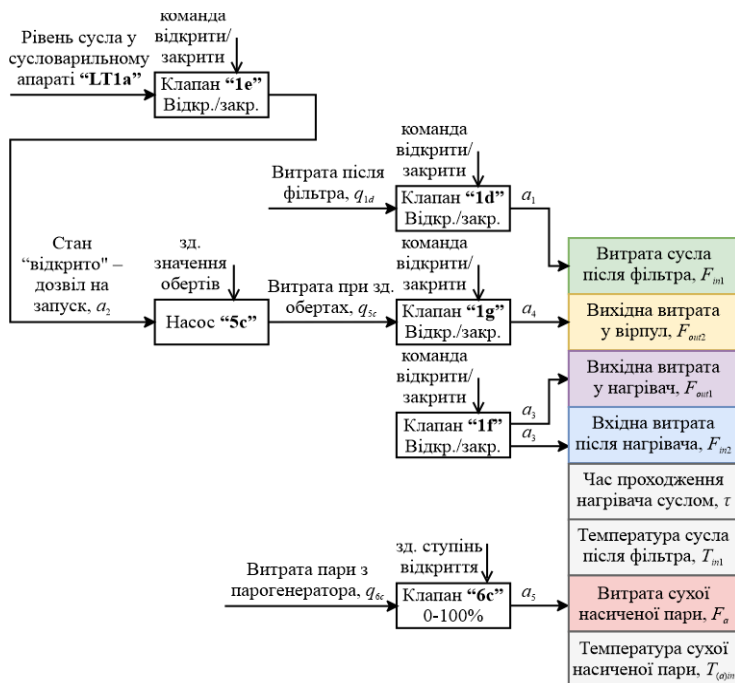


Рис. 3. Структурна схема моделі (частина 2)

Висновки

У ході дослідження розроблено імітаційну модель сушловарильного апарата із зовнішнім нагрівачем на основі матеріальних балансів. Наразі модель представлена у вигляді розв'язків диференційних рівнянь методом Ейлера та набору сталих параметрів моделі. На основі структурної схеми моделі її можна легко реалізувати в програмованому логічному контролері для налагодження алгоритмів керування процесом кип'ятіння суслу й тестування системи керування до її впровадження на реальному об'єкті. Передбачається, що в подальшому розроблена модель буде застосовуватися для вибору оптимальних стратегій керування, генерування наборів даних, а також як конструктивний елемент підсистеми підтримки прийняття рішень.

Література

- Armando, B. (1997). *Principles and practice of automatic process control*. Automatica, 23(3).
- Bamforth, C. W. (2016). *Brewing Materials and Processes: A Practical Approach to Beer Excellence*. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-13349-1>.
- Eßlinger, H. M. (2009). *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets*. <https://doi.org/10.1002/9783527623488>.
- Fijewski, M., Polarczyk, I., & Paduchowska, J. (2019). *Analysis and simulation of the circulation pump operation*. E3S Web of Conferences, 116. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911600022>.
- Fix, G. (1999). *Principles of Brewing Science*. In *Principles of Brewing Science*.
- Hough, J. S., Briggs, D. E., Stevens, R., & Young, T. W. (2001). *Malting and Brewing Science: Volume 2 Hopped Wort and Beer*.
- Hancock, J. (2014). *Evaporation & Wort Boiling*. <https://www.briggsplc.com/wp-content/uploads/technical-papers/EvaporationWort-Boiling-JAN-2014-Briggs.pdf>.
- Karassik, I. J., & McGuire, T. (1998). *Heads, Conditions of Service Performance Characteristics, and Specific Speed In Centrifugal Pumps*. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6604-5_18.
- Kunze, W. (2004). *Technology brewing and malting*. VLB Berlin.
- Mosher, M., & Trantham, K. (2017). *Brewing Science: A Multidisciplinary Approach*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46394-0>.
- Narziß, L., Back, W., Gastl, M., & Zarnkow, M. (2017). *Die Technologie der Malzbereitung*. In *Abriss der Bierbrauerei*. <https://doi.org/10.1002/9783527812820.ch1>.
- Pogo, S. I., Arias, J. F., & Andaluz, V. H. (2021). *Control of the Malt Mashing and Boiling Process in Craft Beer Production: Hardware-in-The-Loop-Technique*. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 12980 LNCS. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87595-4_51.
- Seborg. (2019). *Process Dynamics and Control fourth edition*. In Journal of Chemical Information and Modeling (Vol. 53, Issue 9).
- Shah, R. K., & Sekulić, D. P. (2003). *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. <https://doi.org/10.1002/9780470172605>.
- Thomas, P. (1999). *Simulation of Industrial Processes for Control Engineers*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-4161-6.x5000-7>.
- Stewart, G. G., Russell, I., & Anstruther, A. (2017). *Handbook of brewing, Third edition*. <https://doi.org/10.1201/9781351228336>.
- Stewart, M., & Lewis, O. T. (2012). *Heat Exchanger Equipment Field Manual: Common Operating Problems and Practical Solutions*. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-07786-4>.
- Пупена, О. М. (2023а). *Лабораторна робота №9. Розробка системи керування з використанням каркасу*. Розробка та імітаційне моделювання інтегрованих систем керування. Лабораторний практикум. https://pupenasan.github.io/rimit/lab/lab9_pacframework.html.
- Пупена, О. М. (2023б). *Тема 15. Використання імітаційних моделей при побудові інтегрованих систем керування*. Розробка та імітаційне моделювання інтегрованих систем керування. Лекції. https://pupenasan.github.io/rimit/lecture/15_simul.html.

PRACTICAL APPROACHES TO THE PREPARATION AND CREATION OF SUBSYSTEMS FOR IDENTIFICATION OF THE STATE OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT AND AUTOMATION TOOLS BASED ON MACHINE VISION AND NEURAL NETWORKS

Y. Bondarenko, O. Pupena

National University of Food Technologies

Key words:

*Manufacturing equipment
Machine learning
Machine vision
State identification system
Image processing tools
Neural network training*

Article history:

Received 10.01.2024
Received in revised form
31.01.2024
Accepted 14.02.2024

Corresponding author:

Y. Bondarenko

E-mail:

evgeniy_bondarenko@ukr.net

Citation: Є. А. Бондаренко, О. М. Пупена (2024). Практичні підходи до підготовки та створення підсистем ідентифікації стану технологічного обладнання і засобів автоматизації на основі машинного зору та нейромереж. *Наукові праці НУХТ*, 30(1), 30—37.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-1-6

ABSTRACT

Various approaches and methods used in the development of machine vision subsystems for effective identification of the state of technological equipment and automation tools at production sites are considered in the paper. The use of such subsystems is due to the impossibility of determining the condition of technological equipment by direct measurement methods, caused by aggressive environmental conditions: high temperature, the possibility of aggressive substances entering the measuring device, increased vibration, etc. The main emphasis is on the creation of a system of visual identification of shut-off valves. The development process is considered step-by-step, including the preparation and use of various tools.

Various software platforms for image markup, tools for training neural network models, software and hardware components for efficient deployment of machine vision systems are covered. The typical structure of the technological equipment identification subsystem, including the shut-off valve, is described in detail, built using machine vision algorithms and low-code programming language, for effective interaction with other systems in production.

An overview of tools for interacting with images, performing data marking, and training neural network models was made. The work uses the Lobe graphic tool for model preparation and the low-code Node-Red tool for deploying and configuring the machine vision system. The methods and approaches that help automation engineers easily engage in the development and integration of machine vision systems in manufacturing enterprises are discussed in detail. It was emphasized that the acquired knowledge will allow engineers not only to effectively implement such systems, but also to acquire the necessary competencies for in-depth study of the field of machine vision and machine learning. This article will be a useful resource for professionals interested in expanding their knowledge in this important area of industrial automation.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-1-6

ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ПІДГОТОВКИ ТА СТВОРЕННЯ ПІДСИСТЕМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТАНУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ І ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ НА ОСНОВІ МАШИННОГО ЗОРУ ТА НЕЙРОМЕРЕЖ

Є. А. Бондаренко, О. М. Пупена

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто різноманітні підходи й методи, що використовуються в розробці підсистем машинного зору для ефективної ідентифікації стану технологічного обладнання та засобів автоматизації на виробничих ділянках. Використання таких підсистем зумовлено неможливістю визначення стану технологічного обладнання прямими методами вимірювання, спричинене агресивними навколишніми умовами: високою температурою, можливістю потрапляння агресивних речовин на вимірювальний пристрій, підвищеною вібрацією тощо. Основний акцент робиться на створенні системи візуальної ідентифікації запірної арматури. Процес розробки розглядається поетапно, включаючи підготовку та використання різноманітних інструментів.

Висвітлено різноманітні програмні платформи для розмітки зображень, інструменти для навчання моделей нейронних мереж, програмні та апаратні компоненти для ефективного розгортання систем машинного зору. Детально описана типова структура підсистеми ідентифікації технологічного обладнання, включаючи запірну арматуру, побудована з використанням алгоритмів машинного зору та low-code мови програмування, для ефективної взаємодії з іншими системами на виробництві.

Зроблено огляд інструментів для взаємодії із зображеннями, проведення розмітки даних, навчання моделей нейронних мереж. Використано графічний інструмент Lobe для підготовки моделей і low-code інструмент Node-Red для розгортання та налаштування системи машинного зору. Детально розглянуто методи й підходи, що допомагають інженерам з автоматизації легко займатися розробкою та інтеграцією систем машинного зору на виробничих підприємствах. Автори підкреслюють, що отримані знання дадуть змогу інженерам не лише ефективно реалізовувати подібні системи, але й набути необхідних компетенцій для глибокого вивчення галузі машинного зору та машинного навчання. Ця стаття стане корисним ресурсом для фахівців, що цікавляться розширенням своїх знань у цій важливій сфері промислової автоматизації.

Ключові слова: виробниче обладнання, машинне навчання, машинний зір, система ідентифікації стану, інструменти обробки зображень, навчання нейронних мереж.

Постановка проблеми. Харчова промисловість доволі велика галузь, яка включає в себе понад 40 різноманітних виробництв. Це фабрики, заводи та промислові цехи з різного виду технологічним обладнанням. Найбільшу їх частину

складають трубопроводи й трубопровідна арматура. Не всі підприємства мають достатній рівень автоматизації, але контроль стану всього технологічного обладнання, зокрема запірної та регулюючої арматури, є доволі важливим завданням. Часто це не можна зробити через відсутність електрифікації різного роду вентилів і засувок. Іноді відсутня нагальна потреба у їх електрифікації та віддаленому керуванні, але стан контролюють завжди. Неправильно закритий чи відкритий ventиль матиме незворотні наслідки для персоналу та підприємства в цілому. Це можуть бути витoki шкідливих чи вибухонебезпечних речовин, закупорка посудин, що працюють під тиском тощо. В правилах безпечної експлуатації виробничих установок описано як має проводитися огляд, але все зводиться до людського фактора. Системи машинного зору зможуть усунути цей недолік, шляхом візуального контролю стану технологічного обладнання за допомогою камер та алгоритмів машинного зору. Це дасть змогу точно відслідковувати стан кожного з механізмів, зокрема регулюючих органів, вести журнал подій, з'явиться віддалений моніторинг з можливістю інтеграції з іншими системами підприємства.

Незважаючи на високу популярність машинного зору, а також його використання у багатьох рішеннях щодо розпізнавання браку продукції або завдань класифікації, існує значна проблема в масштабуванні подібних рішень. Це зумовлено перш за все потребою у висококваліфікованих кадрах різного спрямування для кожного окремого рішення. Зокрема, потрібні фахівці з системної інтеграції, машинного навчання, технологи та інші. При цьому система повинна супроводжуватися протягом усього життя, адже промислові об'єкти завжди змінюються, що безумовно приводить до змін у системі керування. Необхідно розробити методику, яка б надавала можливість покроково виконувати необхідні дії, які може робити технічний персонал, наприклад, фахівець з автоматизації, попередньо навчений основам машинного зору та машинного навчання в достатньому для завдання обсязі. Зважаючи на вищевикладене, доцільно проаналізувати сучасний стан досліджень щодо використання машинного зору для ідентифікації стану обладнання, розробити концепцію підсистеми машинного зору в складі структури системи керування, а також методику розроблення та впровадження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Достатня кількість досліджень присвячена контролю стану регулюючих органів на трубопроводах, механічних приладів у нафтовій, хімічній, газовій промисловостях та енергетиці. Все це виробництва з підвищеною небезпекою. Так, у праці (Mertiaux та ін., 2019) описано використання автономних роботів із системою машинного зору для аналізу виробничого обладнання в газовій і нафтовій промисловості. Реалізація потребує великих матеріальних і ресурсних затрат на розгортання, оскільки передбачає використання автономних роботів. У праці (Rayhana та ін., 2022) розглядається використання системи машинного зору для аналізу технічного стану клапанів і трубопроводів міських систем водопостачання, але не проводиться виявлення їх фізичного стану (відкрито/закрито). Це б давало змогу комплексно аналізувати трубопровідну арматуру на виробничих об'єктах, та повністю відстежувати їх життєвий цикл. У статті (Yadav, 2021) описано процес навчання моделі нейромережі для аналізу кульових кранів з використанням промислової хмарної платформи «Prescient Designer» та розгортанні її за допомогою «NodeRed», що є

гарним прикладом побудови системи машинного зору. Однак використання хмарних сервісів може викликати певні складнощі при розробці й експлуатації: авторизований доступ до хмарної платформи та перманентний доступ до мережі інтернет. У дослідженні (Umer, 2023) показано процес навчання власної моделі нейронної мережі для «Tensor Flow» шляхом донавчання попередньо натренованої моделі «ssd_mobilenet_v2». Такий варіант навчання моделі більш правильний, але потребує знань певних мов програмування та алгоритмів налаштування нейронних мереж. А такі компетенції не завжди присутні у спеціалістів з промислової автоматизації.

Мета дослідження: розроблення концепту системи машинного зору для віддаленого моніторингу ручних клапанів та іншого технологічного обладнання у виробничих умовах з можливістю сигналізації про порушення стану та ведення журналу подій, а також підходів щодо її розроблення та імплементації. В подальшому передбачається інтеграція цієї системи з підсистемою підтримки прийняття рішень.

Матеріали і методи. Використані сучасні наукові матеріали, у яких досліджується використання систем машинного зору й алгоритмів машинного навчання в промисловості. Як методичне забезпечення застосовано практичні інженерні методи розробки та імплементації систем машинного зору на виробництвах, описані в таких міжнародних і галузевих технічних стандартах, як серія стандартів VDI/VDE/VDMA 2632.

Викладення основних результатів дослідження. Машинний зір — це термін, який використовується для опису системи комп'ютерного зору, застосованого на прикладному рівні, наприклад, у промисловості. Це поняття пов'язане зі штучним інтелектом, де використовують алгоритми й технології для розпізнавання зображень, обробки відео та аналізу візуальної інформації. Складовою систем машинного зору у багатьох випадках є машинне навчання. Машинне навчання — це галузь штучного інтелекту, яка досліджує, розробляє та застосовує алгоритми, що дають змогу комп'ютеру самостійно вчитися на основі вхідних даних, без явного програмування. У машинному навчанні використовуються різноманітні алгоритми, включаючи нейронні мережі, дерева рішень, методи кластеризації, лінійна регресія тощо. Саме такі системи можуть застосовуватися для візуального виявлення несправностей роботи технологічного обладнання. Приклад структури такої системи з використанням наведених нижче підходів наведено на рис. 1.

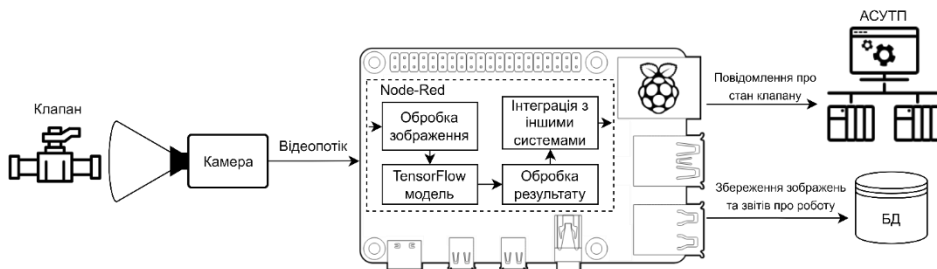


Рис. 1. Приклад структури системи машинного зору для ідентифікації стану клапанів

Відповідно до методологічних підходів і практичних аспектів, створення наведеної на рис. 1 системи передбачає такі етапи:

1. Збір зображень обладнання (клапанів, засувок, люків) у різних станах і положеннях.

2. Розмітка зображень. Позначення, на якому із зображень, який стан (відкрито-закрито, норма-не норма). Для цього можна використовувати спеціальні інструменти розмітки. Для точності розмітки рекомендується використовувати декілька людей або експертів, щоб отримати найкращий результат.

3. Навчання моделі нейронної мережі.

4. Перевірка ефективності навченої моделі. Для цього потрібно використовувати тестові дані, які не використовувалися для навчання моделі. Тестові дані повинні включати різні зображення обладнання, зокрема нові зображення, які модель не бачила раніше.

5. Вдосконалення моделі, якщо необхідно. Якщо ефективність моделі недостатня, можна спробувати покращити якість розмітки або збільшити обсяг тренувальних даних.

6. Інтеграція (розгортання) моделі в системі контролю стану технологічного обладнання. Якщо модель показала високу ефективність, її можна використовувати для автоматичного контролю та розпізнавання стану й положення клапанів у реальному часі.

Для успішного навчання моделі необхідно зібрати достатню кількість високоякісних зображень потрібного обладнання в різних його станах і положеннях. Для прикладу, якщо необхідно навчити модель розпізнавати стан відкритого та закритого клапана, потрібно зібрати набір зображень в обох станах. Також важливо для подальшої простоти роботи, щоб збір зображень відбувався безпосередньо на місці встановлення потрібного нам обладнання. Для цього варто послуговуватися сервісами існуючих для цього платформ, на яких буде працювати система машинного зору, а також інструментом для захоплення зображення з камери (RPI ImageCapture, 2021). Також на практиці застосовують готові набори даних, які можна знайти на різних інтернет-ресурсах з машинного навчання, зокрема на платформі Kaggle (Kaggle, 2022). На сайті Kaggle є розділ з викладеними наборами даних для навчання нейромереж.

Розмітка зображень є ключовою складовою багатьох задач машинного зору, таких як класифікація зображень, детекція об'єктів, семантична сегментація тощо. Розмітка полягає у визначенні місцезнаходження та класифікації об'єктів на зображенні або відео. Для виконання розмітки зображень існують різноманітні підходи (Saiwa со., 2023), але основні методи можна розділити на дві категорії: ручну та автоматичну розмітку.

Ручна розмітка вимагає людської уваги та ресурсів, але, зазвичай, дає найкращі результати. У разі ручної розмітки людина самостійно визначає місцезнаходження та класифікацію об'єктів на зображенні. Ручна розмітка зображень полягає у визначенні та позначенні на зображенні об'єктів, що повинні бути розпізнані алгоритмом машинного зору. Цей процес вимагає від людини детального знання предметної галузі та вміння правильно визначати об'єкти на зображеннях.

Автоматична розмітка полягає у використанні алгоритмів машинного навчання для автоматичного визначення місцезнаходження та класифікації об'єктів на

зображенні. Цей підхід менш точний, ніж ручна розмітка, але він може бути корисним для швидкої розмітки великої кількості зображень. Для автоматичної розмітки можна використовувати навчальні моделі, такі як YOLO, Faster R-CNN, Mask R-CNN, RetinaNet тощо.

Існує ряд прикладних інструментальних програмних рішень, які призначені для ручної й автоматичної розмітки зображень. Відкрите програмне забезпечення для розмітки зображень та відео Computer Vision Annotation Tool (CVAT, 2022). Labelbox — безкоштовна платформа (Label box, 2022) для розмітки зображень, що забезпечує інтеграцію з різними інструментами для машинного навчання та обробки даних. Label Studio (Label Studio, 2022) відкритий інструмент для розмітки зображень, написаний на мові Python. LOBE (Lobe, 2022) — це платформа з графічним інтерфейсом для створення моделей машинного навчання, розмітки даних без потреби в глибоких знаннях програмування або машинного навчання. Так, наприклад, на платформі LOBE представлений ручний метод розмітки даних. Для цього необхідно завантажити набір даних окремими зображеннями або готовим набором. Якщо зображення одного класу знаходяться в одній папці та назва папки має назву класу, LOBE запропонує присвоїти назву окремого класу для всіх зображень, що завантажуються. Якщо додавати всі зображення окремо, клас для кожного необхідно буде присвоювати вручну.

Після успішної розмітки зображень починається процес навчання моделі існуючими інструментами, зокрема вже вищезгаданий LOBE або (Teachable Machine, 2021). Teachable Machine — це інтерактивний експериментальний інструмент, розроблений командою Google Creative Lab, який демонструє можливості машинного навчання та штучного інтелекту шляхом простих вправ з використанням веб-камери. Цей інструмент дає змогу користувачам навчати комп'ютерні моделі розпізнавати різні об'єкти чи дії, використовуючи відеопотік з веб-камери. Перед навчанням на платформі LOBE можна обрати характер потрібної моделі, тобто що буде пріоритетним при навчанні: швидкість чи якість розпізнавання.

Після успішного навчання моделі, якщо вона задовольняє вимоги і здатна коректно виконувати розпізнавання зображень, зображення, які модель не може розпізнати, відсутні або їх досить мало, можна робити експорт моделі для її використання у виконавчій системі. Для прикладу платформа Lobe дає змогу експортувати модель в різних форматах, зокрема у дуже широко використовуваному форматі TensorFlow (TensorFlow, 2022). Вибір саме цього формату дає змогу інтегрувати модель у багатьох апаратних та програмних платформах. Усе це забезпечує високу гнучкість до застосування такого рішення хоч на промисловому обладнанні, хоч на смартфоні.

Оскільки рішення в подальшому будуть інтегрувати спеціалісти з автоматизації, в яких можуть бути відсутні компетенції з програмування на високорівневих мовах, таких як C++ чи Python, був вибраний інструмент на базі low-code Node-RED, який використовує структуру з функціональних блоків об'єднаних в інформаційний потік, що схоже на мову програмування промислових контролерів (Function Block Diagram, 2022).

Розгортання моделі передбачається робити за допомогою згаданого вище середовища Node-Red. Все програмне забезпечення може бути розгорнуте на одноплатному ПК (типу Raspberry Pi), або на будь-якому іншому ПК залежно від

вимог проєкту. Приклад розгортання описаний (Ngo T. та ін., 2020) надає можливість в реальному часі проводити ідентифікацію об'єктів і передавати інформацію про їх стан в інші системи підприємства.

У середовищі Node-Red пропонується використати бібліотеку (Node-RED Contrib Teachable Machine, 2021) для роботи з кастомними моделями TensorFlow, яка доволі проста у використанні та часто зустрічається у подібних проєктах з відкритим вихідним кодом. Як уже зазначалося, в системі використовується раніше навчена модель, яка може знаходитися локально на тому ж ПК. Також вузол дає змогу використовувати моделі, які знаходяться у віддаленому доступі, та моделі, які генеруються сервісом Teachable Machine від компанії Google. Вибраний підхід і середовище надають можливість побудувати та налаштувати потрібне рішення без участі висококваліфікованих у машинному навчанні спеціалістів, але й знаннями в предметній автоматизації технологічних процесів. Для демонстрації на рис. 2 показаний приклад фрагменту рішення на Node-RED, зокрема потік обробки зображення з видачею результату класифікації. Фрагмент показаний без прив'язки до конкретного застосування, але досить демонстративний. Для роботи потоку необхідно на вхід вузла обробки моделі подати зображення, вказавши до нього локальний або віддалений шлях за допомогою вузла «http request», який реалізовує клієнтський http запит. У результаті обробки вузол «teachable machine» поверне мітку класу нашого зображення та числове значення відповідності визначеному класу від 0 до 1, де 1 — повна відповідність. Значення відповідності більше 0,85 можна вважати задовільним.

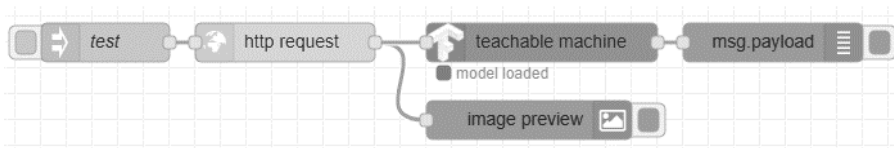


Рис. 2. Приклад потоку в середовищі Node-Red

Результат аналізу зображення можна використовувати для інтеграції з іншими системами, наприклад, системою підтримки прийняття рішень, вивести стан конкретного вентиля на екран людино-машинного інтерфейсу, сигналізувати про порушення стану та в інших можливих сценаріях.

Висновки

Сьогодні машинний зір досить успішно використовується для ідентифікації стану конкретного обладнання, однак широкого застосування для всієї номенклатури, зокрема арматури керування, не набув. Це великою мірою зв'язано зі способом реалізації рішень, у якому необхідно мати вкрай специфічні компетенції, невластиві фахівцям з автоматизації, що мають впроваджувати їх в структурі кінцевої системи, або для реалізації необхідно доволі потужне програмне чи апаратне забезпечення, використання якого економічно недоцільне. Також є праці, які пропонують рішення з ідентифікації стану клапанів з використанням хмарних сервісів за підпискою, яке, з одного боку, потребує постійного з'єднання з інтернетом, а з іншого — не має гнучкості. З огляду на вищезазначені, продемонстрований

розроблений авторами концепт системи машинного зору, який дасть змогу віддалено контролювати стан неелектрифікованих клапанів для подальшого збору даних або прийняття рішень щодо дії над ними.

Показана в ході дослідження методика розробки таких систем машинного зору є функціональною та легкою в реалізації, доступною для інженерів з автоматизованих систем. Це дасть змогу простіше імплементувати машинний зір у будь-які рішення автоматизації технологічних процесів, зокрема для ідентифікації стану ручної арматури.

Література

- Boutteau, R. (2019). The VIKINGS Autonomous Inspection Robot: Competing in the ARGOS Challenge. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 26(1), 21—34. doi: 10.1109/MRA.2018.2877189.
- CVAT. (2022). Computer Vision Annotation Tool (CVAT). Взято з <https://www.cvat.ai/>.
- Function Block Diagram. (2022). Wikipedia article. Взято з https://en.wikipedia.org/wiki/Function_block_diagram.
- Jiao, Y., Bahrami, Z., Kong, X., Liu, Z., Rayhana, R. (2022). Valve Detection for Autonomous Water Pipeline Inspection Platform. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Volume 27, Issue 2. doi:10.1109/TMECH.2021.3079409.
- Kaggle. (2022). Kaggle platform overview. Взято з <https://www.kaggle.com/>.
- Labelbox. (2022). Labelbox tool overview. Взято з <https://labelbox.com/>.
- Label Studio. (2022). Label Studio tool overview. Взято з <https://labelstud.io/>.
- Lobe. (2022). Lobe platform overview. Взято з <https://www.lobe.ai/docs/>.
- Meriaux, P., Rossi, R., Boutteau, R., Boutteau, R. (2019). The VIKINGS Autonomous Inspection Robot: Competing in the ARGOS Challenge. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 26(1), 21—34. doi: 10.1109/MRA.2018.2877189.
- Node-RED Contrib. (2021). Contrib RPI ImageCapture. Взято з <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-rpi-imagecapture/in/4T0vMp-CFNUs>.
- Node-RED Contrib. (2021). Contrib Teachable Machine. Взято з <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-teachable-machine>.
- Paul Van Eck, Ted Chang, Ton A Ngo, Yi-Hong Wang. (2020). Building a Machine Learning Node for Node-RED using TensorFlow.js. Взято з <https://developer.ibm.com/tutorials/building-a-machine-learning-node-for-node-red-using-tensorflowjs>.
- Rayhana, R., Jiao, Y., Bahrami, Z., Liu, Z., Kong, X. (2022). Valve Detection for Autonomous Water Pipeline Inspection Platform. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Volume 27, Issue 2. doi:10.1109/TMECH.2021.3079409.
- Saiwa co. (2023). Image Labeling. Взято з <https://medium.com/@saiwa.ai/image-labeling-fff892dc2f1e>.
- Teachable Machine. (2021). Teachable Machine Basics. Взято з <https://teachablemachine.withgoogle.com>.
- TensorFlow. (2022). TensorFlow tool overview. <https://www.tensorflow.org/>.
- Umer, A. (2023). Building a Custom Object Detection Model with TensorFlow. Взято з <https://python.plainenglish.io/building-a-custom-object-detection-model-with-tensorflow-9c222f36a76b>.
- Yadav, A. (2021). Machine Vision using Custom TensorFlow Model with Prescient Designer. Взято з https://www.prescientdevices.com/en/blog/machine-vision-using-custom-tensorflow-model-with-prescient-designer?hs_amp=true.

TACCP FOR THE PASTA PRODUCTION IN ACCORDANCE WITH THE PAS 96:2017 METHODOLOGY

M. Drychyk, O. Shulga

National University of Food Technologies

Key words:

TACCP
Pasta
Malicious threats
Food protection system
Adulteration

Article history:

Received 03.01.2024
Received in revised form
18.01.2024
Accepted 02.02.2024

Corresponding author:

M. Drychyk
E-mail:
mariya.drichik@gmail.com

Citation: М. Ю. Дричик,
О. С. Шульга (2024). Си-
стема ТАССР для вироб-
ництва макаронних виробів за методологією PAS 96:2017. *Наукові праці НУХТ*, 30(1), 38—50.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-1-7

ABSTRACT

The modern food market requires producers to have the highest level of organization and control of food production. In this context, the HACCP system helps to minimize accidental hazards and is recognized as mandatory at the legislative level in Ukraine. Threats such as sabotage and industrial espionage cause serious challenges to food safety, so it is important to recognize that modern needs require a higher level of organization and control of production. To minimize risks, two other systems have been developed — TACCP (aimed at preventing harmful threats to food, such as sabotage, extortion or terrorism) and VACCP (aimed at preventing economically motivated food fraud). The use of food security systems, including TACCP, helps to assess vulnerabilities, identify strategies to mitigate terrorist attacks, assess risks and prevent terrorism. Therefore, the development and implementation of the TACCP system for any food production becomes an essential necessity.

A review of the literature sources indicated that the TACCP system has only been developed for a limited list of industries. However, the importance of such a system for all market participants is absolute. A TACCP system was created for the production of pasta products according to the PAS 96:2017 methodology, which provides for the determination of critical control points.

The results of TACCP development for Rivne Macaroni Factory LLC, for which a special working group was created is presented in the article. Threats occurring during the production of pasta products were analyzed. For each identified threat, the probability of occurrence of each threat and its impact were assessed and provided. The threats identified were prioritized in order to understand the order in which protective measures should be implemented.

СИСТЕМА ТАССР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МАКАРОННИХ ВИРОБІВ ЗА МЕТОДОЛОГІЄЮ PAS 96:2017

М. Ю. Дричик, О. С. Шульга

Національний університет харчових технологій

Сучасний ринок харчових продуктів вимагає від виробників найвищого рівня організації та контролю виробництва харчових продуктів. У цьому контексті система НАССР допомагає мінімізувати випадкові небезпечні фактори і визнана обов'язковою на законодавчому рівні в Україні. Загрози, такі як диверсії, промисловий шпідонаж і саботаж, створюють серйозні виклики для безпеки харчових продуктів, тому важливо визнати, що сучасні потреби вимагають більш суттєвої організації та контролю виробництва. Для мінімізації ризиків було розроблено ще дві системи — ТАССР (спрямована на попередження шкідливих загроз харчовим продуктам, таких як саботаж, вимагання або тероризм) та VАССР (орієнтована на попередження економічно мотивованого шахрайства з харчовими продуктами). Застосування систем харчового захисту, включаючи ТАССР, допомагає оцінити вразливі місця, визначити стратегії пом'якшення терористичних атак, оцінити ризики та запобігти тероризму, тому розробка і впровадження системи ТАССР для кожного харчового виробництва стає невід'ємною необхідністю.

Дослідження літературних джерел вказує на те, що система ТАССР поки розроблена лише для обмеженого переліку виробництв. Однак важливість такої системи для всіх учасників ринку є абсолютною і не містить сумнівів для жодного оператора ринку. Саме тому в статті поставлено завдання розробити систему ТАССР для виробництва макаронних виробів за методологією PAS 96:2017, яка передбачає визначення критичних засобів контролю.

Представлено результати розроблення ТАССР для ТОВ «Рівненська макаронна фабрика», де створено спеціальну робочу групу. Проаналізовано загрози, які виникають під час виробництва макаронних виробів. Для кожної ідентифікованої загрози розглянуто й надано оцінку ймовірності виникнення кожної загрози та її впливу. Здійснено пріоритизацію ідентифікованих загроз для розуміння очерговості введення захисних дій.

Ключові слова: ТАССР, макаронні вироби, зловмисні загрози, система харчового захисту, фальсифікація.

Постановка проблеми. В Україні на законодавчому рівні закріплена обов'язковість НАССР для кожного харчового підприємства. Крім того, у зв'язку із введенням державного інспектування відповідно до ЗУ «Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин» № 2042-VIII від 18.05.2017 передбачені штрафи за невпровадження на потужностях постійно діючих процедур, заснованих на принципах системи аналізу небезпечних факторів і контролю в критичних точках (НАССР). Диверсії, промисловий шпідонаж, сабо-

тажі — це дії, які не можуть мінімізувати система HACCP. Саме тому було розроблено ще дві системи TACCP та VACCP. TACCP (Threat Assessment Critical Control Point) — попередження шкідливих загроз харчовим продуктам, таких як саботаж, вимагання або тероризм. VACCP (Vulnerability Assessment Critical Control Point) — попередження економічно мотивованого шахрайства з харчовими продуктами (Плічко, 2022).

HACCP призначений лише для запобігання ненавмисному забрудненню. TACCP був розроблений для захисту від навмисного забруднення (Wareing, & Hines, 2016).

HACCP, TACCP та VACCP доцільно розглядати як три рівні забезпечення безпеки харчових продуктів, які є рівноцінними компонентами однієї цілісної системи контролю (Косюк, Ларіонова, & Ткаченко, 2019). Впровадження TACCP та VACCP національними операторами ринку здійснюється добровільно, наприклад, у межах впровадження схеми сертифікації FSSC 22000. Нині чинна версія 5.1, здійснюється перехід на версію 6.0.

Критичні контрольні точки в планах VACCP і TACCP не є аналогами контрольно критичних точок плану HACCP. План HACCP — це етапи технологічного процесу, тоді як плани VACCP і TACCP, в переважній більшості, це етапи ланцюга постачання (Novakovic, & Grujic, 2018).

Крім того, TACCP і VACCP також дають змогу уникнути фальсифікації продукції, особливо навмисної фальсифікації харчового продукту (Плічко, 2022). Випадки шахрайства з харчовими продуктами мають сильний негативний вплив на довіру споживачів до харчової промисловості, саме тому необхідні механізми щодо мінімізації шахрайства з харчовими продуктами (Jurica та ін., 2021).

Системи харчового захисту можуть допомогти оцінити вразливі місця, визначити стратегії пом'якшення терористичних атак, оцінити ризики та запобігти тероризму (Jurica, Vrdoljak, & Vrčić, 2019).

Отже, розроблення TACCP для кожного харчового виробництва є необхідним, адже мінімізує загрози щодо безпечності харчових продуктів, обумовлені саботажом, вимаганням або тероризмом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фальсифікація їжі є поширеною проблемою, може бути навмисною (для збагачення виробників, переробників, роздрібних торговців) або ненавмисною/випадковою (відбувається під час виробництва, оброблення та зберігання). Статистичні дані вказують, що приблизно у 57% людей розвинулися проблеми зі здоров'ям через неперетравлювані домішки та забруднювачі харчових продуктів, а близько 22% харчових продуктів щорічно підробляють у всьому світі (Thangaraju, Modupalli, & Natarajan, 2021). Саме тому унеможливлення фальсифікації є важливим завданням для кожного оператора ринку.

Варто нагадати про найбільш резонансні випадки фальсифікації харчових продуктів: у Китаї в 2008 р. немовлята померли після вживання дитячої суміші з меламіном, понад 300 тис. людей постраждали від молочних продуктів. У країнах ЄС у 2013 р. було виявлена незадекларована конина в продуктах з яловичини. Цукровий сироп виявили в імпортованому меді в Австралії (Varcoe, 2017).

Система ТАССР вперше була представлена у 2008 р. в загальнодоступній специфікації (PAS). Специфікація розроблена Центром захисту національної інфраструктури (CPNI) у співпраці з Британським інститутом стандартів (BSI). У цьому оригінальному виданні використано профілактичні стратегії в рамках рекомендацій Всесвітньої організації охорони здоров'я щодо «Терористичної загрози харчовим продуктам». Переглянуте видання PAS 96 було опубліковано в 2010 р., наступне — у 2014 р. (Górna, 2018; Oberst, 2018; Vargas, 2019; Wiśniewska, 2015).

Одним зі способів захисту від шахрайства є інтелектуальна перевірка, адже бренди, які не вживають адекватних заходів щодо боротьби з шахрайством, мають суттєві фінансові наслідки (Hines, & Murphy, 2016).

Ринок молока і молочних продуктів вимагає від операторів ринку певних зусиль задля забезпечення якості і безпеки. Одним зі способів є аналіз загроз і критичних контрольних точок (ТАССР) за допомогою методу CARVER+Shock (Wiśniewska, & Tarczyńska, 2022).

Продукція м'ясної промисловості займає не менш важливе місце у харчуванні людини. Саме тому оператори ринку Великої Британії впроваджують ТАССР на своїх потужностях (Sikora, 2015).

Компанії «Sushi&Food Factor» вдалося налагодити високу культуру безпеки та якості виробленої їжі. Оператор ринку вживає заходів для підтримання комунікації, залучення працівників, усвідомлення ризиків тощо. Діяльність компанії пов'язана з перевіркою ефективності нагляду за сферами харчового захисту та шахрайства з харчовими продуктами, моделюванням несанкціонованого доступу або огляду й оцінки інцидентів, які наразі сталися на ринку (Górna, & Wysokińska-Senkus, 2018).

Ще у 2019 р. Розвідувальна мережа щодо доброчесності харчових продуктів, Федерація пекарів і Федерація їжі та напоїв Великої Британії провели онлайн-анкетування щодо засобів боротьби з шахрайством у харчовій промисловості. Позитивний результат анкетування полягає в тому, що підвищено обізнаність та забезпечено цілісність ланцюга постачання харчових продуктів і визначено економічні наслідки щодо втрати репутації бренду (Soon та ін., 2019).

Звісно, впровадження ТАССР потребує матеріальних ресурсів. Так, у (Sayed, Ibrahim, & Eid, 2021) досліджено економічну складову впровадження, зокрема на деяких м'ясопереробних підприємствах.

Особливу актуальність система ТАССР набула під час пандемії у 2019 р., адже саме на операційному рівні харчового бізнесу компанії повинні були використовувати горизонтальне сканування для виявлення нових загроз і підвищення безпеки ланцюгів постачання за допомогою систем управління на основі ризиків. Цікаво, що пандемія COVID-19 виявила слабкі місця системи під час великої кризи, наприклад, канали онлайн-покупок/електронної комерції (Brooks, 2021; Cane, 2021).

Отже, аналіз літературних джерел показав, що система ТАССР нині розроблена для досить обмеженої кількості виробництв, проте необхідність у такій системі для кожного оператора ринку не викликає жодних сумнівів у дослідників. В Україні, зважаючи на воєнний стан, актуальність ТАССР суттєво зросла, крім того, навіть після перемоги України потреба у ТАССР не зникне, адже ймовірність харчового тероризму цілком можлива.

Мета дослідження: розробити систему ТАССР для виробництва макаронних виробів за методологією PAS 96:2017.

Матеріали і методи. Технологія виробництва макаронних виробів на прикладі ТОВ «Рівненська макаронна фабрика».

Систему ТАССР розроблено відповідно до методології PAS 96:2017.

До постійної команди ТАССР повинні входити особи, які мають досвід роботи у сфері:

- безпеки;
- людських ресурсів;
- харчових технологій;
- технологічних процесів;
- виробництва та операцій;
- закупівлі та заготівлі;
- розподілу і логістики;
- інформаційних технологій;
- комунікації;
- комерційній/маркетинговій.

Команда ТАССР, зазвичай, є постійною групою, здатною переглядати свої рішення. Необхідно враховувати, що будь-які зміни, які можуть вплинути на оцінку ТАССР, такі як порушення та підозри про порушення безпеки чи автентичності, слід негайно повідомляти керівнику групи ТАССР, який вирішує, чи потрібен повний перегляд. Команда ТАССР повинна стежити за оновленнями національних оцінок загроз та інформації про нові ризики на офіційних веб-сайтах.

PAS 96:2017 пропонує оцінку ризику за такою градацією (табл. 1).

Таблиця 1. Оцінка ризику

Імовірність загрози відбувається	Оцінка	Вплив
Дуже високий шанс	5	Катастрофічний
Високий шанс	4	Основний
Певний шанс	3	Значний
Може статися	2	Деякі/дещо
Навряд чи станеться	1	Незначний

Примітки. 1. Це приклад оціночної матриці, організації можуть вибрати власну схему ранжирування.

2. Імовірність виникнення загрози визначається, наприклад, впродовж останніх 5 років.

3. Вплив може включати смерть або травму, витрати, шкоди репутації та/або громадськості та ЗМІ сприйняття цих наслідків.

Методологія PAS 96:2017 передбачає визначення критичних засобів контролю, зокрема, контроль доступу, виявлення втручання, забезпечення безпеки персоналу, після чого повинна бути реакція на інцидент, зокрема, управління кризою охорони харчових продуктів, управління кібератакою, планування на випадок непередбачених обставин для відновлення від нападу і на останок перегляд механізмів захисту харчових продуктів.

Викладення основних результатів дослідження. Розроблення будь-якої системи (якості, безпечності) здійснюється виключно для конкретного оператора ринку, адже не існує ідентичних операторів ринку, кожний має свою специфіку

щодо організації технології, постачальників, людського ресурсу тощо. Крім того, якби можна було узагальнити системи за профілем технології, то стандарти згідно з якими здійснюється їх розроблення, мали б уніфіковану методологію. Ми пропонуємо розроблення ТАССР для ТОВ «Рівненська макаронна фабрика», оскільки саме на цьому підприємстві відбувалася технологічна, виробнича та професійна практики здобувачки (співавтор статті).

Згідно з PAS 96:2017 оцінку ризику здійснюють відповідно до матриці, наведеної на рис. 1.

Ймовірність	5				Загроза А	
	4		Загроза С			
	3					Загроза В
	2	Загроза Е				
	1			Загроза D		
		1	2	3	4	5
Вплив						
Дуже високий ризик			Загроза А			
Загроза високого ризику			Загроза В			
Помірний ризик			Загроза С			
Низький ризик			Загроза D			
Незначний ризик			Загроза Е			
Примітка. Це приклад матриці оцінки ризику, організації можуть обирати різні критерії для різних ризиків категорії.						

Рис. 1. Матриця оцінки ризиків

Для зазначеного оператора ринку передбачено створення робочої групи, яка складається з такого персоналу:

- керівник групи — начальник відділу якості ТОВ «Рівненська макаронна фабрика»;
- секретар групи — лаборант виробничої лабораторії підприємства;
- члени групи: інженер-хімік, начальник виробничого відділу, оператор лінії з виробництва довгорізаних макаронних виробів, майстер виробничого цеху, працівник відділу кадрів, працівник відділу закупівлі/продажу, інженер відділу ІТ (інформаційних технологій), представник служби охорони, представник відділу маркетингу.

З метою постійної актуалізації системи ТАССР передбачений внутрішній аудитор — начальник відділу збуту.

З метою коректного розроблення ТАССР оператор ринку повинен розуміти загрози, з якими вони стикаються, зосередити увагу на пріоритетних.

Таблиця 2. Інформація про загрози під час виробництва макаронних виробів

№	Загрози компанії та інфосистемам	Можливий спосіб операції
А	Конкуренти	Витік конфіденційної інформації
В	Хактивісти	Розподілена атака на відмову в обслуговуванні (DDOS) на веб-сайт. Вторгнення в інформаційну систему та крадіжка конфіденційних даних

C	Співробітники	Незаконний доступ до конфіденційних даних
D	Споживачі	Поширення неправдивої негативної інформації про продукцію в соціальних мережах
№	Загрози локаціям	Можливий спосіб операції
E	Персонал підприємства	Порушення гігієнічних стандартів під час виробництва
F	Постачальники	Затримки або порушення у транспортному ланцюгу (дрібне забруднення; можливе серйозне шкідливе зараження)
G	Окремі групи питань	Навмисне зараження/пошкодження/руйнування приміщень
H	Персонал першої лінії	Крадіжка; змова з клієнтами
№	Загрози продукту	Можливий спосіб операції
I	Постачальники сировини (борошна)	Постачання сировини низької якості, забрудненої, гіршого сорту тощо
J	Оператор та інший персонал виробничої лінії	Навмисна зміна режимів для сушіння виробів Недодержання гігієнічних норм і правил при виробництві макаронних виробів
K	Персонал торговельної мережі, точок збуту	Схиляти споживача до вибору макаронних виробів іншого виробника, використовуючи неправдиві аргументи
L	Ідеологічно вмотивована група	Зловмисне забруднення компонента

Примітка. Повідомлення преси про занепокоєння щодо автентичності харчових продуктів є доречними.

Для запобігання небезпекам важливо обмежити доступ до конфіденційної інформації і надати його лише для уповноваженого персоналу. Проблема може бути вирішена шляхом працевлаштування ІТ-спеціалістів. Такі спеціалісти забезпечать високий рівень кібербезпеки, включаючи застосування паролів, захист мережі та моніторинг незвичних активностей.

Відділ маркетингу повинен проводити періодичний моніторинг соціальних мереж для виявлення негативних відгуків і розробити стратегії реагування. Відділ закупівель і продажів здійснює моніторинг та планування доставки, розробку запасних маршрутів і контролює вчасність здійснення доставки. Важливо здійснювати належний аудит: на місці точок збуту, постачальників, внутрішній на підприємстві.

Для кожної ідентифікованої загрози команда ТАССР розглядає та дає оцінку ймовірності виникнення кожної загрози та її впливу. Вплив можна оцінити у фінансовому вираженні або з точки зору стажу роботи персоналу, необхідного для вирішення проблеми. Оцінку ризику, представлену кожною загрозою, можна відобразити на простій діаграмі (рис. 2).

Про ймовірність виникнення загрози можна робити висновок, враховуючи:

- чи досягне зловмисник своїх цілей у разі успіху;
- чи міг зловмисник отримати доступ до продукту або процесу;
- чи стримають зловмисника захисні заходи;
- чи віддасть перевагу зловмисник іншим цілям;
- чи буде виявлена атака до того, як вона матиме будь-який вплив.

Відповідно до PAS 96:2017 здійснена оцінка ризику для ТОВ «Рівненська макаронна фабрика» наведена на рис. 3.

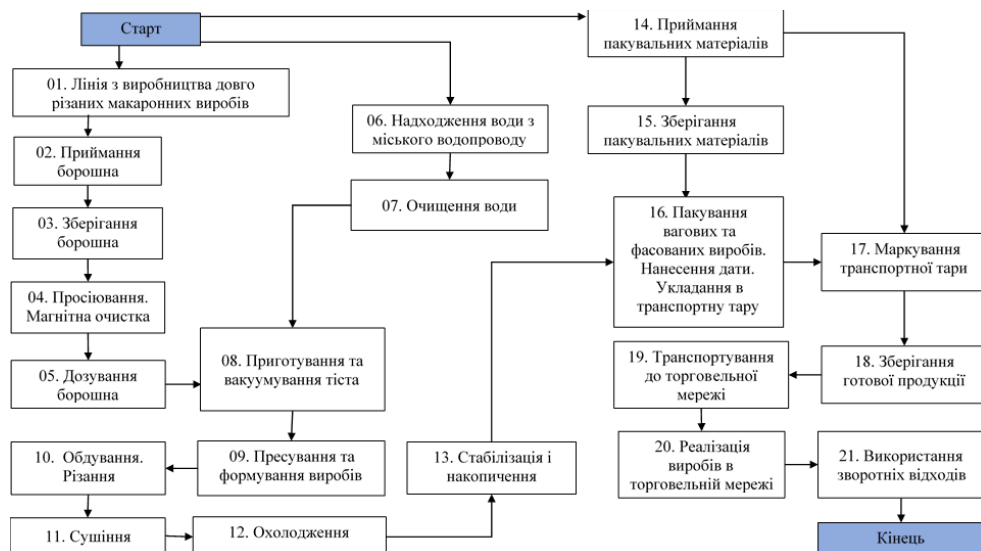


Рис. 2. Діаграма ідентифікації загроз

Ймовірність	5					2
	4					6
	3	4		14, 16		3, 15
	2		21	1, 7, 11, 20		
	1	5, 8, 9, 10, 12, 13, 17, 19				18
		1	2	3	4	5
Вплив						
Дуже високий ризик			кроки 2, 6			
Високий ризик			кроки 3, 15			
Помірний ризик			кроки 14, 16, 18			
Низький ризик			кроки 1, 7, 11, 20, 21			
Незначний ризик			кроки 4, 5, 8, 9, 10, 12, 13, 17, 19			

Рис. 3. Матриця оцінки ризиків на ТОВ «Рівненська макаронна фабрика»

Оцінювання загроз щодо виробництва макаронних виробів на ТОВ «Рівненська макаронна фабрика» представлено в табл. 3.

Таблиця 3. Оцінка загрози

Загроза	Опис	Вразливий крок	Ймовірність	Вплив
A	Витік конфіденційної інформації	Усі кроки	1	2
B	DDOS атака на сайт	Маркетинговий відділ	3	3
C:01	Незаконний доступ до конфіденційних даних	Лінія з виробництва довго-різаних макаронних виробів	2	3

Продовження таблиці 3

D	Поширення неправдивої негативної інформації про продукцію в соціальних мережах	Відмова від співпраці з іншими підприємствами, звільнення працівників	2	2
E:20	Порушення гігієнічних стандартів під час виробництва	Реалізація виробів в торговельній мережі	2	3
E:21		Використання зворотних відходів	2	3
F:19	Затримки або порушення у транспортному ланцюзі (дрібне забруднення; можливе серйозне шкідливе зараження)	Транспортування готової продукції до торговельної мережі	1	1
G	Навмисне зараження/ пошкодження/ руйнування приміщень	Місцерозташування підприємства	3	5
H	Крадіжка; змова з клієнтами	Відділ закупівель/продажу	2	2
I:02	Постачання сировини низької якості, забрудненої, гіршого сорту тощо.	Приймання борошна	5	5
I:06		Надходження води з міського водопроводу	4	5
J:11	Навмисна зміна режимів для сушіння виробів	Сушіння макаронних виробів	2	3
J:07	Недодержання гігієнічних норм і правил під час виробництві макаронних виробів	Очищення води	2	3
K	Схиляти споживачів, клієнтів до вибору макаронних виробів іншого виробника, використовуючи неправдиві аргументи	Точки торговельної мережі, відділ продажів	1	3
L:03	Зловмисне забруднення компонента	Зберігання борошна	3	5
L:04		Просіювання. Магнітна очистка	3	1
L:14		Приймання пакувальних матеріалів	3	3
L:15		Зберігання пакувальних матеріалів	3	5
L:16		Пакування вагових та фасованих виробів. Нанесення дати. Укладання в транспортну тару	3	3
L:18		Зберігання готової продукції	1	5

Пріоритизація загроз згідно з PAS 96:2017 наведена в табл. 4.

Аналіз результатів встановив найбільш небезпечні етапи у виробничому ланцюжку за наявності ризику фальсифікації — сировинної. На цих етапах виробництва найбільша ймовірність виникнення небезпеки через відкритий тип процесу і через працюючий персонал. Для того, щоб унеможливити фальсифікації з боку персоналу, необхідно підтримувати активність програм-передумов згідно із системою НАССР та за необхідності розробити операційні програми-передумови. Для цього етапу зробили більш детальну аналітику і деталізацію за видами сировини.

Таблиця 4. Пріоритизація загроз

Ймовірність	5					I:02
	4					I:06
	3	L:04		B, L:14, L:16		G, L:03, L:15
	2		D, H	C:01, E:20, E:21, J:11, J:07		
	1	F:19	A	K		L:18
		1	2	3	4	5
		Вплив				
	Критичний			I:02, I:06		
	Високий			G, L:03, L:15		
	Достатній			B, L:14, L:16, L:18		
	Низький			D, H, C:01, E:20, E:21, J:11, J:07		
	Незначний			L:04, F:19, A		

Підготовчий етап, зокрема приймання сировини, включає в себе можливості фальсифікації, але з боку постачальника. Для того, щоб уникнути фальсифікації, необхідно перевіряти під час приймання сировину за фізико-хімічними показниками та впровадити журнали моніторингу перевірок. Крім того, на підприємстві впроваджена на діє програма-передумова «Контроль постачальника», постійна верифікація якої вказує на те, що ідентифікація ризиків на етапах до приймання на потужності власного виробництва не потрібна.

«Стратегія пом'якшення» для процесу приймання борошна:

- зробити максимальну видимість процесу, обладнання та місця розташування (наприклад, установити дзеркала, належне освітлення, тримати територію вільною від візуальних перешкод);
- контроль за невикористанням особистих речей під час процесу (додатковий огляд перед початком роботи кожного працівника начальником зміни, а також впродовж зміни періодичний вибірковий контроль і накладання штрафів у разі виявлення особистих речей під час процесу);
- надати доступ лише для персоналу, який відповідальний за цей технологічний етап, та працівника служби охорони до процесу, обладнання, елементів керування, вантажу тощо.

«Стратегія пом'якшення» для етапу надходження води з міського водопроводу:

- постачальник повинен проводити перевірку води у незалежній акредитованій лабораторії не рідше одного разу на 4 місяці;
- не рідше одного разу на рік проводити повне очищення труб, їх ремонт (за необхідності) та заміну;
- обмежити доступ лише для уповноваженого персоналу до приміщення, де знаходиться загальний стояк з напірними вентилями, лічильниками тощо.

Аналіз пріоритизації загроз вказує на високий рівень небезпеки також під час зберігання борошна, пакувальних матеріалів і готової продукції. Зазначені процеси є важливими етапами, оскільки будь-які відхилення приведуть до зниження безпечності кінцевого продукту, фінансових і репутаційних втрат.

«Стратегія пом'якшення» для зберігання борошна, пакувальних матеріалів і готової продукції:

- надати доступ лише для уповноваженого персоналу;
- обмежити доступ до отворів або точок доступу (наприклад, до бункерів, точок огляду, отворів тощо);
- використовувати систему сигналізації для сповіщення про порушення доступу до місця розташування, обладнання, елементів керування та накриття для отворів або точок доступу (наприклад, контакт, рух, інфрачервоне випромінювання, спосіб буде залежати перш за все від економічних можливостей ТОВ «Рівненська макаронна фабрика»), для виявлення підозрілих подій (наприклад, виявлення руху в зоні обмеженого доступу, де персонал не повинен бути присутнім);
- використовувати електронну систему контролю доступу, щоб обмежити доступ до місцезнаходження та/або елементів керування (наприклад, шифрований замок, картки, біометричні пристрої, RFID), розробити для системи ідентифікацію персоналу (значки, картки з штрих-кодом);
- використовувати пристрої для спостереження (зокрема, камери), щоб посилити спостереження.

Додатково пропонується використовувати схему лабораторного контролю, що вказана в табл. 5, яка є оновленою і удосконаленою щодо нині діючої схеми лабораторного контролю.

Таблиця 5. Схема лабораторного контролю під час виробництва довгорізаних макаронних виробів на ТОВ «Рівненська макаронна фабрика»

Назва	Вимоги
1. Вхідний контроль сировини	Дата постачання; назва сировини; постачальник/виробник; перелік документів; сорт/гатунок; кількість; санітарний стан; усі фізико-хімічні показники; термін придатності; код простежуваності; результати досліджень; коригувальні дії (КД); відповідальний за дослідження
2. Контроль напівфабрикатів	Дата виробництва; найменування; органолептичні показники; фізико-хімічні показники; результати досліджень; КД; відповідальний за дослідження
3. Контроль готових виробів	Дата виробництва; кількість; найменування; органолептичні показники; фізико-хімічні показники; результати досліджень; КД; відповідальний за дослідження
4. Контроль пакувальних матеріалів	Дата надходження; назва; специфікація; термін придатності (12 міс.); товщина картону; габаритні розміри

У лабораторії для контролю виробництва необхідно вести журнали аналізів готових виробів, аналізів борошна, вхідного контролю таропакувальних матеріалів, контролю технологічних параметрів, обліку металоманітних домішок тощо.

Після запровадження вказаних захисних дій для ризиків з високим і критичним рівнем необхідно подбати про безпечність усіх процесів та відділів. У цілому на підприємстві потрібно використовувати такі попереджувальні заходи:

- контроль сировини в акредитованих лабораторіях до укладення контракту з постачальником;
- вхідний контроль сировини з перевіркою цілісності пломб та упаковки;
- після укладання контракту з постачальником ведення бази даних щодо невідповідностей на вхідному контролі;
- забезпечення охорони території, обмеження доступу на територію і в виробничі приміщення, застосування системи відеоспостереження;
- система анонімного зворотного зв'язку для співробітників і захист осіб, які повідомляють про порушення;
- обов'язковий аудит постачальників сировини.
- доступ до відкритих етапів процесу лише для довірених осіб;
- відеоспостереження за місцями, де є відкритий доступ до продукту;
- виконання програм-передумов та розроблення і впровадження операційних програм-передумов.

Представлена система потребує періодичного перегляду та за необхідності корегування. Крім того, доцільним також є застосування методології CARVER+Shok і після валідації та верифікації систем TACCP за обома методологіями, вибір найбільш раціонального підходу або можливе удосконалення і розроблення іншого методу, який буде потребувати умови роботи оператора ринку.

Висновки

1. У створену групу TACCP на ТОВ «Рівненська макаронна фабрика» залучено начальника відділу якості (керівник групи), лаборанта виробничої лабораторії (секретар групи), інженера-хіміка, начальника виробничого відділу, оператора лінії з виробництва довгорізнаних макаронних виробів, майстра виробничого цеху, працівника відділу кадрів, працівник відділу закупівлі/продажу, інженера відділу ІТ (інформаційних технологій), представника служби охорони, представника відділу маркетингу.

2. Визначено, що на етапах приймання борошна і надходження води з міського водопроводу можливий дуже високий ризик, як і на етапах зберігання борошна і пакувальних матеріалів.

3. Передусім необхідно знизити рівень загрози постачання сировини низької якості, забрудненої, гіршого сорту тощо; навмисного зараження/пошкодження/руйнування приміщень; зловмисного забруднення компонентів.

4. Важливою складовою контрзаходів є обмеження доступу до певного процесу/локації: лише для уповноваженого ідентифікованого персоналу, використовувати систему сигналізації для сповіщення про порушення доступу до місця розташування, використовувати пристрої для посилення спостереження (наприклад, камери).

Література

Косюк, О., Ларіонова, Н., Ткаченко, К. (2019). HACCP — зліва, TACCP і VACCP — справа, в центрі — споживач. Взято з <https://latifundist.com/spetsproekt/>.

Плічко, С. Навмисне забруднення продуктів харчування та біотероризм в рамках системи менеджменту харчової безпечності. *European Business Association*. Взято з: <https://eba.com.ua/navmysne-zabrudnennya-produktiv-harchuvannya-ta-bioteroryzm-v-ramkah-systemy-menedzhmentu-harchovoyi-bezpechnosti/>.

Brooks, C., Parr, L., Smith, J. M., Buchanan, D., Snioch, D., & Hebishy, E. (2021). A review of food fraud and food authenticity across the food supply chain, with an examination of the impact of the COVID-19 pandemic and Brexit on food industry. *Food Control*, 130, 108171. doi:10.1016/j.foodcont.2021.108171.

Cane, P., & Primrose, D. (2021). Food fraud: supply chain vulnerabilities and criminal opportunities during the COVID pandemic. *Journal of applied animal ethics research*, 3(1), 141—151. doi:10.1163/25889567-BJA10018.

Góma, J., & Wysokińska-Senkus, A. (2018). Zarządzanie bezpieczeństwem żywności wobec zagrożeń terrorystycznych. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska*, 109—119. doi:10.29119/1641-3466.2018.128.9.

Góma, J., Brzechwa, A., & Kowalczyk, A. (2022). Prevention of threats from the area of food defence and food fraud on the example of the sushi&food factor company. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie*, 181—196. doi:10.29119/1641-3466.2022.162.10.

Hines, T., & Murphy, L. (2016). Combatting food fraud with intelligent due diligence. *World Food Regulation Review*, 25(8), 20—23.

Jurica, K., Brčić Karačonji, I., Lasić, D., Bursać Kovačević, D., & Putnik, P. (2021). Unauthorized food manipulation as a criminal offense: Food authenticity, legal frameworks, analytical tools and cases. *Foods*, 10(11), 2570. doi:10.3390/foods10112570.

Jurica, K., Vrdoljak, J., & Brčić Karačonji, I. (2019). Food defence systems as an answer to food terrorism. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, 70(4), 232—255. doi:10.2478/aiht-2019-70-3357.

Novakovic, B., & Grujic, R. (2018). The specifics of the insurance system to protect food from intentional contamination in the production of powdered food products. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 23, 46—53.

Oberst, A. (2018). Current food safety challenges. *Journal of Social Sciences*. Vol. 1(1), 71—74.

Sayed, M. M., Ibrahim, H. A., & Eid, H. M. (2021). Economical Assessment and Implementation of Food Safety Management Systems: Gmps, HACCP And TACCP in Some Meat Processing Plants. *Alexandria Journal for Veterinary Sciences*, 71(1), 83—94. doi:10.5455/ajvs.106092.

Sikora, E. (2015). TACCP, VACCP and allergen management in meat manufacturing in England. *Intercathedra*, 31(4), 73—79.

Soon, J. M., Krzyzaniak, S. C., Shuttlewood, Z., Smith, M., & Jack, L. (2019). Food fraud vulnerability assessment tools used in food industry. *Food Control*, 101, 225—232. doi:10.1016/j.foodcont.2019.03.002.

Thangaraju, S., Modupalli, N., & Natarajan, V. (2021). Food adulteration and its impacts on our health/balanced nutrition. *Food Chemistry: The Role of Additives, Preservatives and Adulteration*, 189—216. doi:10.1002/9781119792130.ch7.

Varcoe, J. (2017). How to deal with food fraud and threats. *Food Australia*, 69(1), 36—38. doi:10.3316/informit.613004565649119.

Varon Vargas, Nidia Camila. (2019). TACCP como herramienta para evitar el fraude alimentario en Colombia. Bogotá, Colombia: UMNG.

Wareing, P., Hines, T. (2016). Knowing your HACCP from your TACCP and VACCP. A Leatherhead Food Research White Paper 24. Взято з: <https://www.leatherheadfood.com/files/>.

Wicniewska, M. (2015). HACCP-based food defense systems. *Journal of Management and Finance*, 13, 106—119. Взято з: <http://hdl.handle.net/10654/35821>.

Wiśniewska, M. Z., & Tarczyńska, A. S. (2022). Novel quality assurance systems against intentional contamination in dairy factories. In *Dairy Foods*, 281—310. Woodhead Publishing. doi:10.1016/B978-0-12-820478-8.00006-7.

ECONOMIC, TECHNOLOGICAL AND REGULATORY ASPECTS OF BIOTECHNOLOGICALLY DERIVED GLYCOSAMINOGLYCANS IN MODERN COSMETOLOGY

M. Hryshchenko, S. Starovoitova

National University of Food Technologies

Key words:

Glycosaminoglycans
Hyaluronic acid
Cosmetology
Microbial synthesis
Chondroitin sulfate
Heparin

Article history:

Received 08.01.2024
Received in revised form
23.01.2024
Accepted 23.01.2024

Corresponding author:

S. Starovoitova

E-mail:

svetik_2014@ukr.net

Citation: Грищенко М. І., Старовойтова С. О. (2024). Економічні, технологічні та нормативні аспекти глікозаміногліканів біотехнологічного походження в сучасній косметології. *Наукові праці НУХТ*, 30(1), 51—67.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-1-3

ABSTRACT

There is a significant demand for cosmetic products containing glycosaminoglycans (GAGs), in particular hyaluronic acid as the most popular anti-aging component due to its ability to attract water. This can be seen by analyzing the few scientific publications that where the advantages and disadvantages of different methods of obtaining GAGs are described. As the analyzed sources show, microbial synthesis is the most optimal method of obtaining and the vast majority of hyaluronate is obtained precisely in this way. However, given that the natural producers of hyaluronic acid (HA) are mostly pathogenic microorganisms that grow on media with brain-heart infusion or blood, special attention in publications is paid to optimizing cultivation conditions, genetic engineering and other modern technologies to achieve a cleaner product that does not contain pathogenic agents. Currently, the genetically modified strain *Bacillus subtilis* 3NA is recognized as the most efficient and non-pathogenic producer of hyaluronic acid, which allows obtaining 7 g/l of HA. Although this is not as much compared to *Streptococcus equisp. equi* (12 g/l), it significantly reduces the risk of obtaining contaminated hyaluronate and reduces the cost of additional purification of the target product. Thanks to genetic engineering, it was possible to obtain chondroitin, alginate and heparin by microbiological means, which is much more environmentally friendly and safe than extraction from animal raw materials.

Based on modern scientific publications, various methods of post-fermentation purification of GAGs were analyzed and it was found that electrofiltration is cost-effective for cleaning HA on an industrial scale.

Given the widespread use of GAGs in cosmetology for daily use, the quality requirements for glycosaminoglycans as raw materials for cosmetic products are an important issue, so the regulatory support of these compounds as raw materials for cosmetic use in Ukraine, the European Union (EU) and the USA was analyzed. As it can be seen, Ukraine is trying to harmonize its regulatory framework in accordance with European standards, namely the requirements of EU Regulation No. 1223/2009.

ЕКОНОМІЧНІ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА НОРМАТИВНІ АСПЕКТИ ГЛІКОЗАМІНОГЛІКАНІВ БІОТЕХНОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ В СУЧАСНІЙ КОСМЕТОЛОГІЇ

М. І. Грищенко, С. О. Старовойтова

Національний університет харчових технологій

На сьогодні відзначається значний попит на косметичні засоби з глікозаміногліканами (ГАГ), зокрема гіалуроновою кислотою як найпопулярнішим *anti-age* компонентом завдяки її здатності притягувати воду. У численних наукових публікаціях описуються переваги і недоліки різних способів отримання ГАГ, зазначається, що найоптимальнішим способом одержання цих сполук є мікробний синтез і переважну більшість гіалуронату отримують саме цим способом. Але враховуючи те, що природні продуценти гіалуронової кислоти (ГК) — переважно патогенні мікроорганізми, для росту яких використовують середовища з серцево-мозковою інфузією чи кров'ю, в публікаціях особлива увага приділяється оптимізації умов культивування, генетичній інженерії та іншим сучасним технологіям для досягнення більш чистого продукту, що не міститиме патогенних агентів. Наразі найефективнішим і непатогенним продуцентом гіалуронової кислоти визнано генетично-модифікований штам *Bacillus subtilis* 3NA, який дає змогу отримати 7 г/л ГК. Хоча це не так багато, якщо порівнювати з *Streptococcus equi*ssp. *equi* (12 г/л), зате значно знижується ризик отримання забрудненого гіалуронату і зменшуються витрати на додаткове очищення цільового продукту. Завдяки генній інженерії вдалося отримати хондротойн, альгінат і гепарин мікробіологічним шляхом, а це більш екологічно та безпечно, ніж екстракція з тваринної сировини.

На основі сучасних наукових публікацій було проаналізовано різні методи післяферментаційного очищення ГАГ і виявлено, що в промислових масштабах економічно вигідною є електрофільтрація при очищенні ГК.

Зважаючи на широке застосування ГАГ в косметології для щоденного використання, важливим питанням є вимоги до якості глікозаміногліканів як сировини для косметичних засобів, тому проаналізовано нормативне забезпечення цих сполук як сировини для косметичного використання в Україні, Європейському Союзі (ЄС) та США. Сьогодні Україна намагається гармонізувати свою нормативну базу відповідно до європейських стандартів, зокрема до вимог регламенту №1223/2009 ЄС. У США контроль якості косметичної сировини менш формалізований, але теж доволі ефективний.

Ключові слова: глікозаміноглікани, гіалуронова кислота, косметологія, мікробний синтез, хондротойн сульфат, гепарин

Постановка проблеми. Косметологія та beauty-індустрія з кожним роком активно розвиваються, адже сучасна поп-культура лише сприяє цьому (Lee, &

Kwon, 2022). Вже сьогодні індустрія краси є однією з найбільш динамічних і прибуткових галузей у світі бізнесу. Так, її дохід в 2021 р. склав 80,74 млрд дол. США (Almotrefi, Gangwani, Alshahrani, & Ibrahim, 2023; Rathod, Mali, Shinde, & Aloorkar, 2020). Зростання популярності соціальних мереж, збільшення уваги до догляду за шкірою та діагональний розвиток інтернет-торгівлі призвели до того, що споживачі стали більше витрачати на продукти краси. Також варто відзначити, що відбулися певні зміни в цій сфері, якщо раніше питання краси стосувалося лише естетичного зовнішнього вигляду й обмежувалося декоративною косметикою, то зараз на першому місці стоїть догляд за шкірою та запобігання проблемам із зовнішністю. Маркетингові дослідження підтверджують, що світовий ринок засобів проти старіння збільшиться в середньорічному темпі приблизно на 6,8% до 2027 р. (Salvador Ferreira, Magalhães, Sousa Lobo, & Almeida, 2020).

Питання запровадження нових ефективних косметичних інгредієнтів, які допоможуть у боротьбі зі старінням шкіри, не втрачає своєї актуальності. Важливо розглядати косметичні інгредієнти, які мають високу біологічну активність і диференціальну регуляцію процесу старіння (Wang, Neo, & Betts, 2021). І такими інгредієнтами є глікозаміноглікани, адже вони мають високу ендогенну експресію в шкірі, плейотропну біологічну дію (здатність викликати різноманітні біологічні ефекти) та, на жаль, ослаблено експресуються (виробляються) у віковій шкірі.

Переважає більшість наукових статей, що присвячена глікозаміногліканам, стосується сфер їх застосування. Наприклад, ефективність цих сполук для регенерації ушкоджених тканин (Menezes, Vincent, Osomo, & Arinzeh, 2023), для боротьби з раковими захворюваннями (Wieboldt, & Läubli, 2022), для офтальмологічних застосувань (Segars, & Trinkaus-Randall, 2023), для боротьби з коронавірусом (Möller та ін., 2022), для застосування як пребіотиків (Rawat, Seyed Hameed, Meng, & Liu, 2022).

Як можна побачити, спектр використання цих сполук доволі широкий, а попит, відповідно, високий, тому існує потреба у вивченні й аналізі сучасних способів отримання ГАГ, щоб задовольнити потреби споживачів.

Метою статті є огляд та узагальнення літературних джерел, які стосуються оптимізації виробництва глікозаміногліканів задля задоволення економічних, екологічних і нормативних вимог суспільства.

Матеріали і методи. Для написання огляду були використані зарубіжні та вітчизняні наукові публікації у провідних періодичних і спеціалізованих світових виданнях, що стосуються оптимізації методів отримання глікозаміногліканів з переважним акцентом на мікробіологічний спосіб одержання. Пошук наукових статей проводився за допомогою світових наукометричних баз даних, таких як Google Scholar та PubMed.

Викладення основних результатів дослідження. Глікозаміноглікани як ефективні косметологічні інгредієнти. Одними з перспективних і сучасних косметичних інгредієнтів є глікозаміноглікани. Цей клас речовин є невід'ємною частиною міжклітинного матриксу шкіри, що відіграє важливу роль у забезпеченні її структурної цілісності та еластичності.

Загалом, зазначені сполуки можна поділити на чотири групи: гепарин і гепаран сульфати, хондроїтин сульфат і дерматансульфат, кератан сульфат і гіалуронат/гіалуронова кислота (Radhouani, Correia, Gonçalves, Reis, & Oliveira, 2021).

Хондроїтин сульфат допомагає зберігати еластичність і зволоженість шкіри, бореться з ознаками старіння, сприяє загоєнню та захисту від зовнішніх агентів. Дерматан сульфат стабілізує фактори росту цитокінів і має антикоагулянтні властивості. Гепарин і гепаран сульфат можуть контролювати ріст та проліферацію клітин, що покращує структуру шкіри (Wang, Neo, & Betts, 2021), (Sahu, Shrama, Jayakumar, Madhan, & Zameer, 2022). Однак найкращі косметичні ефекти приписують гіалуронової кислоти. Вона займає особливе місце в косметології, адже відіграє важливу роль у кількох біологічних функціях клітини — адгезії, фіксації, рості, міграції, і діє як сигнальна молекула в клітинній рухливості, запаленні, загоєнні ран, метастазах раку та клітинному метаболізмі (Mendoza-Muñoz та ін., 2023).

Способи одержання глікозаміногліканів. На сьогодні більшість глікозаміногліканів, за винятком гіалуронату, виготовляються шляхом екстракції з тваринних тканин, але цей метод досі має чимало недоліків, зокрема неефективний контроль над тваринною сировиною, потенційний ризик захворюти зоонозними інфекціями, ендотоксинами чи пріонами, адже ланцюг постачання тваринних тканин на бойні не контролюється (Current Good Manufacturing Practice for Human and Veterinary Drug and Biological Products (CGMP), 2016). CGMP містить вимоги до управління з контролю за продуктами та ліками США (FDA), виробництва лікарських засобів та біологічних продуктів для людини і тварин, включаючи стандарти щодо організації виробництва, персоналу, приміщень та обладнання, контролю якості, виробництва за правилами GMP, лабораторного контролю, упаковки та маркування. В Україні гармонізованим документом є настанова СТ-Н МОЗУ 42-4.0:2020 «Лікарські засоби. Належна виробнича практика» (GMP, 2020), де прописані лише вимоги до постачання тваринної сировини з боєнь: «Якщо джерелом одержання тваринних тканин є бойні, має бути показано, що вони працюють за стандартами, еквівалентними тим, що застосовують в ЄС. Слід взяти до уваги доповіді від таких організацій, як Продовольча та ветеринарна служба (Food and Veterinary Office), що перевіряють дотримання вимог стосовно безпеки та якості харчових продуктів, ветеринарних і фітосанітарних норм законодавства в рамках ЄС і в третіх країнах, що експортують до ЄС». Варто зауважити, що особливих вимог до ланцюга постачання тваринних тканин на бойні не висувається, тому можна отримати глікозаміноглікани з різних видів тварин і різних тканин, що, відповідно, впливає на стабільність і якість продукту (Jin, Zhang, & Linhardt, 2021).

У процесі виробництва ГАГ з тваринних джерел складно контролювати сульфатційні шаблони (особливості конфігурації сульфатційних груп у молекулі глікозаміногліканів). Це може призводити до непередбачуваних властивостей продукту й ускладнювати його стандартизацію (Gottschalk, & Elling, 2021)

Але основним недоліком тваринного виробництва є те, що зараз у світі існує попит на cruelty-free (яка не тестується на тваринах) та веганську (в складі якої не містяться тваринні інгредієнти) косметику, навіть Європейський Союз (ЄС) визначив неприпустимим метод тестування косметичних засобів на тваринах відповідно до Регламенту ЄС № 1223/2009 про косметичні засоби (Cosmetic Regulation 1223/2009, 2009). Деякі споживачі свідомо відмовляються від косметики, що

містить інгредієнти тваринного походження, тому вивчаються нові біотехнологічні способи отримання ГАГ (Cristiano, & Guagni, 2022), щоб не втрачати величезну частину потенційних покупців.

Одним із способів покращити промислове одержання глікозаміногліканів і уникнути недоліків тваринного виробництва є хімічний синтез. У клінічній практиці використовується хімічно синтезований пентасахарид гепарину, відомий як фундапаринукс натрію (Jin, Zhang, & Linhardt, 2021), але, незважаючи на це, хімічний спосіб складно використовувати для синтезу сульфатованих глікозаміногліканів, адже правильну структурну сульфатацію молекул ГАГ складно досягти через необхідність захисту/дегідрування амінокислотних та ОН-груп, а також через процеси фракціонування та очищення, які зменшують виходи та неефективні з точки зору часових і витратних ресурсів для великомасштабних процесів (Gottschalk, & Elling, 2021).

Мікробна інженерія — найкращий альтернативний метод виробництва ГАГ, оскільки хімічний синтез має недоліки, такі як складність та багатоетапність самого процесу одержання цільових сполук і токсичні побічні продукти. Хемоферментний синтез вимагає дорогих ферментів і чистих компонентів, що теж доволі затратно. Мікробна інженерія є менш складною, відносно дешевою, практично не створює негативного впливу на навколишнє середовище та запобігає передачі захворювання (Awofiranpe та ін., 2022). Важливо, що мікробний синтез дає змогу отримати чистий продукт уд контрольованих умовах. (Balbinot-Alfaro та ін., 2021).

Оптимізація отримання гіалуронової кислоти. Для біотехнологічного виробництва ГК використовують представників родини *Streptococcus*, а саме *Streptococcus zooepidemicu*, *Streptococcus equissp*, *Streptococcus thermophiles*. Для підвищення виходу цільового продукту застосовують різні підходи оптимізації бродіння, зокрема:

1. Для *Streptococcus zooepidemicu* намагалися підібрати інше середовище культивування, яке не містило б крові овець і мозково-серцевої інфузії, адже саме ці інгредієнти підвищують ризик перехресного зараження. Узагальнені дані виходу цільового продукту за різних джерел карбону наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Вплив джерела вуглецю на вихід гіалуронової кислоти у *Streptococcus zooepidemicu*

Джерело Карбону	Вихід ГК (г/л)	Джерело
Сирна сироватка	3,2	(Amado, Vázquez, Pastrana, & Teixeira, 2016)
Меляса цукрової тростини	2,8	(Pan, Pereira, da Silva, Vasconcelos, & Celligoi, 2017)
Сік з яблук кеш'ю	1,76	(Oliveira, Ogródowski, de Macedo, Santana, & Gonçalves, 2014)
Екстракт ріжкового дерева	2,6	(Ozcan, Germec, & Turhan, 2022)
Соевий пептон	0,3	(Benedini, & Santana, 2013)
Відходи рибної промисловості	2,3	(Vázquez та ін., 2015)

2. У *Streptococcus equissp. equi* завдяки правильно підбраному режиму бродіння та концентрації сахарози (80 г/л) вдалося досягти виходу ГК 12 г/л за умов

реакції pH 7,8, температура інкубації 33 °C, час інкубації 24 год, швидкість перемішування 187 об/хв. Це один з найкращих результатів, адже на разі в промисловості переважно використовували *S. Zooepidemicus* з продуктивністю до 7 г/л (Cai, Zhang, Kumar, & Wyman, 2014; Amado, Vázquez, Pastrana, & Teixeira, 2016).

3. *Streptococcus thermophilus*. У дослідженні (Cai, Zhang, Kumar, & Wyman, 2014) зазначається, що найкраще виробництво гіалуронової кислоти у *S. thermophilus* було з бактерій, вирощених на альтернативному середовищі, що містить сироватку 450 мл/л та 7,5 г/л дріжджового екстракту. Культивування проводили при 40 °C, pH 6,8, швидкість перемішування 150 об/хв протягом 18 годин. Ці дії дали змогу насинтезувати 0,598 г/л ГК.

Звісно не обійшлося без методів генної інженерії, адже дикі штами, як правило, не є потужними продуцентами, тому вчені створюють різні рекомбінантні штами, наприклад *Streptococcus zooepidemicus* R42. Так, (Abbas Mohammed, & Niamah, 2022) в *Streptococcus zooepidemicus* внесли ген синтезу бактеріального гемоглобін (Vhb). Таким чином знизилася накопичення молочної кислоти, що гальмує ріст цієї бактерії та, відповідно, виробництво цільового продукту. Далі, завдяки серії обробки клітин N-метил-N'-нітро-N-нітрозоганідином (NTG) було створено гіалуронідазо-негативний і рифампіцинорезистентний мутантний штам, який виробляє 6,7 г/л гіалуронової кислоти.

Але, як показують дослідження (Lu та ін., 2016), проблема не лише в кількості синтезу ГК, а й у чистоті виходу, адже природні продуценти ГК — це зоонозні патогени, а їхній продукт синтезу містить чимало ендотоксинів, що роблять його непридатним для безпосереднього використання у медицині, косметичі чи інших галузях, тому потрібно проводити додаткові операції з очищення та виділення ГК, що стають доволі затратними.

В ідеалі найбільш підходящий мікроорганізм для виробництва ГК повинен мати статус GRAS (Generally recognized as safe - загалом вважається безпечним), не виділяти жодних токсинів і безперервно виробляти біополімер, щоб він міг досягати принаймні 1 мегадальтон (MDa). Молекулярна маса (MW) і чистота ГК вказують на її якість: полімери з більшою MW (>0,5 MDa) мають більшу ринкову вартість. З мікробної точки зору, виробництво такого полімеру також є проблемою через його високу вартість метаболічної енергії, тому зараз відбуваються активні дослідження та спроби створити непатогенний високопродуктивний штам мікроорганізму. Наразі було створено широкий спектр гетерологічних продуцентів, включаючи: *Lactococcus lactis*, *Enterococcus faecalis*, *Corynebacterium glutamicum*, *Kluyveromyces lactis*, *Escherichia coli*, *Streptomyces albulus*, *Bacillus subtilis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia pastoris* (de Oliveira та ін., 2016). Узагальнені дані щодо генетичних маніпуляцій з потенційними продуцентами гіалуронової кислоти наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Генетичні модифікації для створення синтетиків гіалуронової кислоти

Мікроорганізм	Використані Плазмиди/Гени	Оптимізація	Вихід ГК (г/л)	Джерело
<i>Lactococcus lactis</i> NZ9000 VRJ3ABC	pRKN, pNZ8148 та їхні похідні, гени hasA, hasB, hasC, hasD та hasE	Одночасне вираження генів hasA і hasB	0,68	De Oliveira та ін., 2016

<i>Enterococcus faecalis</i> OGIRF	Гени для біосинтезу ГК, транспозон 916 insertional mutagenesis, плазмиди pAT19 та pPD41	Генетична модифікація, транспозонний мутагенез і використання плазмідних векторів	0,69	
<i>Corynebacterium glutamicum</i> ATCC 13032 pJH183.2	Ген hasA з <i>S. equi</i> subsp. <i>zooepidemicus</i> , гени hasB, hasC, glmU, i vgb	Оптимізація умов культивування та вираження генів hasA і tuaD	До 1,3	Hmar, Prasad, Jayaraman, & Ramachandra, 2014
<i>Kluyveromyces lactis</i> .	Ген pm hasA з <i>Pasteurella multocida</i>	Вираження гена hasA, оптимізація умов культивування	1,89	Gomes, Netto, Carvalho, & Parachin, 2019
<i>Escherichia coli</i>	Гени hasA, tuaD, а також активація галактозного шляху	Генетичні модифікації для підсилення біосинтезу UDP-глюкуронової кислоти	0,02998 г/л	Woo, Seong, Lee, & Jang, 2019
<i>Streptomyces albulus</i> CRM003	Ген hasA з <i>S. zooepidemicus</i>	Генетична модифікація та оптимізація умов культури	6,2	Yoshimura, Shibata, Hamano, & Yamanaka, 2015
<i>Bacillus subtilis</i> 3NA	Гени hasA, tuaD, gtaB, i gcaB з <i>S. zooepidemicus</i> та плазмиди pTRG5, pDR111	Включення оптимальної RBS для гена tuaD	7	Cerminati та ін., 2021

Як видно з табл. 1, поки одним з найперспективніших рекомбінантних продуцентів ГК можна назвати *Bacillus subtilis*, адже він синтезує найбільшу кількість цільового продукту на літр культуральної рідини і це за умови часу культивування 11 год. *B. subtilis* має статус GRAS, що гарантує можливість розробки продуктів, які не містять ендотоксинів, у промислових масштабах.

Оптимізація мікробного одержання інших глікозаміногліканів.

1. Альгінат. Альгінат у косметичі володіє підтягуючими та моделюючими властивостями, покращує мікроциркуляцію крові, тонізує та освіжає шкіру, розгладжує зморшки. Зазвичай, його одержують з бурих водоростей. Однак через зміни навколишнього середовища, такі як підвищення температури океану та збільшення кількості біотехнологічних застосувань альгінатів зі специфічними властивостями, виникає потреба в більш надійних джерелах видобутку, які можна модифікувати, тому зараз активно розробляються біотехнологічні шляхи отримання цієї речовини.

Так, бактерія *Pseudomonas aeruginosa* здатна виробляти альгінат. Останні дослідження (El-Helow, Atalla, Sabra, & Lotfy, 2020) показують, що сульфат магнію,

мікроелементи та перекис водню є важливими змінними, які позитивно впливають на синтез альгінату клітинами *Pseudomonas aeruginosa* FRD1.

Варто пам'ятати, що цей продуцент — доволі патогенна бактерія, і її культивування в промислових масштабах має значний ризик, тому були проведені дослідження (Valentine та ін., 2020) зі створення непатогенного штаму. Для цього послідовно видалили п'ять ключових генів патогенності з хромосоми *P. Aeruginosa*, у результаті чого отримали штаму PGN5 без маркерів. Внутрішньочеревна ін'єкція мишам цього штаму призвела до 0% смертності, у той час як ін'єкція *P. aeruginosa* дикого типу призвела до 95% смертності. Це чудовий результат, що свідчить про те, що системна вірулентність PGN5 сильно ослаблена. Важливо підкреслити, що PGN5 виробляє досить велику кількість альгінату у відповідь на надмірну експресію MucE, активатора біосинтезу альгінату. Також альгінат, який продукує PGN5, структурно ідентичний альгінату, який виробляє *P. Aeruginosa* дикого типу, це вказує на те, що шлях біосинтезу альгінату залишився незмінним у цьому модифікованому штамі.

2. Гепарин, гепарозан і гепарансульфат. Для синтезу гепарину використовували рекомбінантні дріжджі *Pichia pastoris* (Zhang, та ін., 2022), що можуть виробляти гепарин з метанолу. Це дало змогу утворити 2,08 г/л біоінженерного гепарину в культурах з періодичним підживленням.

Існують інші способи вироблення гепарину, зокрема в клітинах ссавців. Так, у дослідженні (Oduah, Linhardt, & Sharfstein, 2016) було використано клітини яєчників китайського хом'яка (CHO). Ці еукаріотичні клітини найбільш часто використовуються для виробництва біологічних фармацевтичних препаратів завдяки своїм унікальним властивостям, таким як міцність, безпека від потенційного вірусного зараження і легкість маніпуляцій. Клітини також вважаються сприятливими для біологічної інженерії гепарину, оскільки вони внутрішньо експресують більшість ферментів, залучених для біосинтезу гепарину, за винятком HS3ST1 і NDST2 (ферменти, важливі для антикоагулянтних властивостей гепарину). Крім того, клітини CHO природним чином виробляють гепарансульфат (HS), GAG, подібний до гепарину.

Гепарозан природним чином синтезує *Escherichia coli* Nissle 1917 (EcN). Але для підвищення виходу цієї сполуки у дослідженні (Hu, та ін., 2022) було задіяно метаболічну інженерію:

1. Оптимізація біосинтезу прекурсорів: було проведено оптимізацію біосинтезу прекурсорів, таких як UDP-GlcA і UDP-GlcNAc, необхідних для синтезу гепарозану.

2. Експресія ферментів шляху синтезу гепарозану. Введено гени, що кодують ферменти для синтезу гепарозану, включаючи bsGalU і esKfiD для UDP-GlcA і esGlmM для UDP-GlcNAc.

3. Підвищення експресії ендегенних генів, що кодують ферменти синтезу гепарозану.

Проведені маніпуляції дали змогу підвищити рівень виходу гепарозану з 0,15 г/л до 1,29 г/л.

Також одним з рекомбінантних продуцентів гепарозану може слугувати *Bacillus megaterium*. У статті (Williams та ін., 2019) було проведено генетичну трансформацію бактерії *B. megaterium* MS941, введенням двох плазмід: одна містила

ген T7 RNA Polymerase (pT7-RNAP), а інша містила ген PmHS2 (отриманий з *Pasteurella multocida* і слугує для синтезу гепарозану). В результаті маніпуляцій вихід продукту становив 2,74 г/л.

Ще одним продуцентом гепарозану у дослідженні (Jin та ін., 2016) слугував *Bacillus subtilis*, у якого інтегрували гени синтаз, отримані з *Escherichia coli*. В результаті було отримано штам, здатний виробляти до 5,82 г/л гепарозану.

Узагальнені дані щодо продуцентів синтезу гепаринової групи ГАГ наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Продуценти ГАГ та умови їх оптимізації для покращення синтезу цільового продукту

Продуценти	Використані Плазмиди/Гени	Умови та Оптимізації	Вихід (г/л)	Продукт	Джерело
<i>Pichia pastoris</i>	pRKN, pNZ8148, гени hasA, hasB, hasC, hasD, hasE	Культури з періодичним підживленням метанолом	2,08	Гепарин	Zhang та ін., 2022
СНО* (клітини яєчників китайського хом'яка)	—	Генна інженерія, спрямована на утворення ферментів HS3ST1 і NDST2	0,09-	Гепарин	Oduah, Linhardt, & Sharfstein, 2016
<i>Escherichia coli</i> Nissle 1917 (<i>EcN</i>)	bsGalU, ecKfiD, ecGlmM -	Метаболічна інженерія: оптимізація біосинтезу прекурсорів, експресія ферментів, підвищення експресії генів	1,29	Гепарозан	Hu та ін., 2022
<i>Bacillus megaterium</i>	pT7-RNAP, PmHS2	Генетична трансформація, введення двох плазмід, експресія генів	2,74	Гепарозан	Williams та ін., 2019
<i>Bacillus subtilis</i> A1645	Гени синтаз з <i>Escherichia coli</i> K5	Генетична модифікація, інтеграція генів синтаз, оптимізація	5,82	Гепарозан	Jin та ін., 2016

Примітка: * — не є прокаріотичним мікроорганізмом.

3. Хондротоїн. Узгаданому вище науковому джерелі (Jin, та ін., 2016) генетично модифікований *Bacillus subtilis*, окрім синтезу гепарозану, здатний був виробляти хондротоїн у кількості 5,22 г/л.

Інше дослідження (Zhou та ін., 2018) з використанням того ж *Bacillus subtilis* показало, що можна отримати вихід хондротоїну у кількості до 7,15 г/л. Таких результатів вдалося досягти завдяки генній інженерії. Гени *tuaD*, *glmU*, *gtaB*, *glmM*, *glmS* і *kfoA* були ампліфіковані з геномної ДНК *B. subtilis* E168C.

Взагалі для виробництва хондротіну переважно використовують *E. coli* K4, адже це найперший і найбільш вивчений мікроорганізм, залучений у промислове виробництво цього глікозаміноглікану. Однак дослідники (Couto, Rodrigues, & Rodrigues, 2022) помітили, що використання цієї бактерії має свої обмеження і проблеми:

1. Необхідність хімічної обробки. Для отримання хондротіну з *E. coli* K4 необхідна хімічна дефруктозиляція та хімічна сульфатія, що ускладнює процес виробництва та може вплинути на якість продукту.

2. Низький вихід. У більшості випадків виходи хондротіну, отриманого з *E. coli* K4, були низькими.

Зважаючи на ці обмеження, дослідники шукають альтернативні мікроорганізми для виробництва хондротіну. Деякі з альтернативних продуцентів включають *E. coli* K5, *S. zooepidemicus*, *E. coli* BL21 (DE3), *B. subtilis*, *Corynebacterium glutamicum* і *E. coli* K-12 (Badri, та ін., 2021; Badri, Williams, Linhardt, & Koffas, 2018).

Післяферментаційні етапи у виробництві глікозаміногліканів. Біосинтез — це не єдиний етап в отриманні глікозаміногліканів, адже після завершення процесу культивування їх потрібно виділити з супернатанту та очистити від бактеріальних частинок. Це доволі важливий крок в отриманні якісного неімуногенного продукту, хоча водночас вартісний і складний (Sharma, Kataria, Sharma, & Singh, 2022; Rodriguez-Marquez, Arteaga-Marin, Rivas-Sánchez, Autrique-Hernández, & Castro-Muñoz, 2022).

Осадження гіалуронової кислоти відбувається аналогічно осаждению білка в присутності органічних розчинників. Суть процесу полягає в тому, що зниження діелектричної проникності водної системи на користь системи органічного розчинника сприяє взаємодії макромолекул, що призводить до збільшення молекулярної маси цільового глікозаміноглікану і, відповідно, до його подальшого осаження. І, як свідчить джерело (Ucm, та ін., 2022), ізопропанол є кращим агентом для осаження, а на лабораторному рівні можуть використовувати і холодний етанол.

В іншому дослідженні (Abbas Mohammed, & Niamah, 2022) автори теж осаджували ГК ізопропанолом, білки видаляли за допомогою 1% трихлороцтової кислоти, в подальшому отриману гіалуронову кислоту діалізували проти ультрачистої води (спеціально підготовлена вода зі зниженою мінералізацією) та ліофілізували, щоб отримати товарну форму.

У статті (Güngör та ін., 2019) був використаний такий метод очищення ГК: після ферментації клітинні залишки видалялися за допомогою 0,15% натрію додецилсульфату і в подальшому центрифугували, отриманий супернатант подавали на діалізу колонку з целюлозною мембраною 25 мм×16 мм і типовою молекулярною масою відсікання 14000. Після цього колону на 5 днів лишали в розчині NaCl. Діалізат фільтрували за допомогою фільтра з ацетату целюлози 0,45 і 0,2 мкм і фільтра змішаних ефірів целюлози (8 мкм) і в кінці осадили 96% етанол. Таким чином вдалося отримати 12 г/л гіалуронової кислоти, що є дуже високим показником.

Можна помітити що майже скрізь у згаданих дослідженнях для отримання гіалуронової кислоти з супернатанту використовують органічні розчинники, але це відносно дорого та може бути не вигідно в промислових масштабах, тому автори

(Gözke та ін., 2017) розглядали електрофільтрацію як альтернативний спосіб отримати очищену ГК. Було виявлено, що отриманий цільовий продукт зберіг свою молекулярну масу та структуру, а також вдалося збільшити кінцевий вихід продукту, якщо порівнювати зі звичайною фільтрацією.

Але не тільки гіалуронова кислота вимагає ретельного та багатоетапного очищення. Особливо важливо якісно очищати сульфатовані ГАГ через їхню складну структуру та чутливість до забруднень.

У дослідженні (D'ambrosio та ін., 2020) автори очищали хондротин сульфат від залишків фруктози. Для їх очищення супернатант спочатку мікрофільтрували через 0,65 мкм Sartopure PP2 midicap і обробляли 10 ОД/л протеаз з *Aspergillus oryzae*, отриманий розчин подавали на діалізацію за допомогою тангенціальної фільтрації на Uniflux-10, потім гідролізували та піддавали другій ультрафільтрації на мембранах 5 кДа, після чого проводили осадження етанолом і подальше очищення за допомогою слабкої аніонної обмінної хроматографії на смолі DEAE.

У (Badri, та ін., 2021) автори осаджували хондротин сульфат етанолом, осад висушували та повторно розчиняли в стерильній воді, а далі додавали хондротину назу для гідролізу ГАГ. Потім розчин пропускали через колонку 3 кДа, фільтрат збирали та ліофілізували.

Нормативне забезпечення. Одним із важливих аспектів впровадження ГАГ в промислове виробництво косметичних засобів є дотримання вимог нормативного забезпечення — міжнародних і національних стандартів.

В Україні виробництво та обіг глікозаміногліканів для застосування в косметичній галузі буде регулюватися Технічним регламент про косметичну продукцію (гармонізовано з Регламентом ЄС), що набуває чинності з 03.08.2024. Натепер більшість національних стандартів що регулювали якість косметичної продукції скасовано.

Основним документом, що регулює виробництво ГАГ для косметичної галузі в ЄС, є Регламент Європейського парламенту та Ради Європейського Союзу № 1223/2009 від 30 листопада 2009 року «про косметичні засоби» (Cosmetic Regulation 1223/2009, 2009). Він містить перелік дозволених ГАГ, вимоги до маркування, пакування, зберігання, процедури оцінки безпеки інгредієнтів. Україна намагається гармонізувати своє законодавство відповідно до законодавства ЄС, тому вводить аналогічний документ — Технічний регламент на косметичну продукцію, що набуває чинності з 03.08.2024 (ТНПК, 2024). Він розроблений на основі згаданого вище Регламенту № 1223/2009 ЄС з метою забезпечення функціонування внутрішнього ринку та високого рівня захисту здоров'я людини.

Відповідно до Регламенту ЄС №1223/2009 про косметичну продукцію, до складу косметичних засобів дозволяється включати такі глікозаміноглікани:

- гіалуронова кислота та її солі — натрію гіалуронат, калію гіалуронат. Дозволені до вмісту 100%;
- хондротин сульфат — дозволений до вмісту 5%;
- гепарин і гепаринові похідні не включені до переліку дозволених до використання речовин в косметичній продукції згідно з Регламентом ЄС №1223/2009.

Однак гепарин та його похідні можуть входити до складу окремих видів косметичної продукції (креми, гелі) для місцевого застосування з метою зменшення

проявів куперозу, запобігання венозним тромбам тощо. Але такі засоби вже класифікуються швидше як косметичні засоби з терапевтичними властивостями і на них поширюються додаткові вимоги:

1. Обов'язкова оцінка безпеки готового продукту, включаючи дослідження потенційного системного впливу інгредієнтів.
2. Попереджувальне маркування про можливі побічні ефекти та застереження щодо використання.
3. Обмеження щодо вмісту діючих речовин.
4. Спеціальні вимоги до упаковки (тюбики з обмеженою дозою).
5. Дерматологічні випробування переносимості.
6. Обов'язкове зазначення терміну придатності після відкриття.

Також в ЄС діє низка стандартів серій ISO 22716, 22717, 22718, 29621 щодо належної виробничої практики косметичної продукції. А саме:

1. ISO 22716:2007 «Косметична продукція. Належна виробнича практика (GMP). Настанови щодо належної виробничої практики» — основний стандарт серії, що встановлює вимоги до GMP (ISO 22716:2007).

2. ISO 22717:2015 «Косметична продукція. Мікробіологічні випробування. Виявлення *Pseudomonas aeruginosa*» — визначає методи виявлення мікробіологічних забруднень синьогнійної палички (ISO 22717:2015).

3. ISO 22718:2015 «Косметична продукція. Мікробіологічні випробування. Виявлення, *Staphylococcus aureus*» — методи аналізу, підрахунку та ви значення золотистого стафілококу (ISO 22718:2015).

4. ISO 29621:2017 «Косметична продукція. Мікробіологічні випробування. Настанови щодо оцінювання ризиків та визначення мікробіологічно низькоризикової продукції» — методи виявлення патогенних мікроорганізмів (ISO 29621:2017).

В Україні діють два гармонізовані стандарти ISO щодо GMP та мікробіологічного контролю косметичного виробництва. ДСТУ EN ISO 22716:2015 «Косметика. Належна виробнича практика (GMP). Настанови з належної виробничої практики (EN ISO 22716:2007, IDT)» гармонізований з основним стандартом ISO 22716:2007 щодо GMP. ДСТУ EN ISO 29621:2016 «Косметика. Мікробіологія. Настанова з оцінювання ризику та ідентифікації продуктів із низьким рівнем мікробіологічного ризику» гармонізований за методами виявлення патогенних мікроорганізмів з ISO 29621:2010 (стандарт втратив чинність на території ЄС) (ДСТУ EN ISO 22716:2015; ДСТУ EN ISO 29621:2016).

Також існують спеціальні стандарти та фармакопейні статті, що встановлюють вимоги до якості саме гіалуронової кислоти. У європейській фармакопеї є окрема монографія «Hyaluronic acid», що містить вимоги до гіалуронової кислоти для фармацевтичного та косметичного застосування за показниками: опис, розчинність, ідентифікація, вміст води, важкі метали, мікробне число тощо (Ph. Eur., 2022). У США діє стандарт United States Pharmacopeia-National Formulary <1276> — «Hyaluronan» з аналогічними вимогами якості (USP-NF, 2023). В Українській державній фармакопеї відсутня окрема стаття або монографія, присвячена безпосередньо гіалуроновій кислоті, але є загальна стаття «Косметичні засоби», яка містить вимоги до косметичної продукції за мікробіологічними й токсикологічними показниками (ДФУ 2-е вид., 2015). Окремі вимоги до гіалуронової кислоти як

інгредієнта косметичних засобів в Україні встановлені в Технічному регламенті про косметичну продукцію, згаданому раніше.

Основним регулятором косметичної продукції в США є Управління з контролю за продуктами та ліками (FDA). Згідно із Законом про федеральну продовольчу, лікарську та косметичну продукцію виробники несуть відповідальність за безпечність і правдиве маркування косметичних засобів.

FDA встановлює вимоги до якості окремих інгредієнтів, зокрема гіалуронової кислоти фармацевтичного та косметичного використання. Також діють стандарти серії ISO 22716 щодо GMP косметичного виробництва. Отже, у США регулювання ГАГ для косметики менш формалізоване, але FDA встановлює вимоги до безпеки та якості.

Основним регулятором косметичної продукції в Україні є Державна служба України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів (Держпродспожислужба). На відміну від США, в Україні регулювання глікозаміногліканів для застосування в косметології є більш формалізованим і ґрунтується на вимогах вищезгаданого Технічного регламенту про косметичну продукцію, гармонізованого з європейським законодавством.

Висновки

У пропонованому огляді розглянуто сучасні способи оптимізації отримання глікозаміногліканів для косметичного застосування. На сьогодні найоптимальнішим способом отримання ГАГ є мікробний синтез, але й він має певні недоліки, пов'язані з патогенністю природних продуцентів, тому багато наукових статей присвячена генетичному конструюванню нових синтетиків глікозаміногліканів.

Отже, найоптимальнішим способом і продуцентом для одержання гіалуронової кислоти є мікробіологічний синтез з використанням *Bacillus subtilis* 3NA. Вихід ГК становить 7 г/л, а час культивування 11 год.

Як можна помітити, не було проаналізовано жодного вітчизняного наукового видання. Це пов'язано з тим, що в Україні, на жаль, недостатньо наукових праць і досліджень з даної тематики. Дослідження стосуються виходу лише гіалуронової кислоти як найпопулярнішого та найвідомішого представника глікозаміногліканів і це доволі негативна тенденція, адже не вдалося знайти жодних джерел за останні десять років, що стосуються мікробного одержання таких популярних у косметології речовин, як гепарин, хондротейн чи гепарозан. Ситуація з гіалуроновою кислотою теж не набагато краща, загалом, це оглядові дослідження (Павлова, Кричківська, & Омельченко, 2013; Лупина, & Волошина, 2014; Лич, Угрин, & Волошина, 2019).

Ці фактори вказують на необхідність спільних зусиль влади, бізнесу та наукової спільноти для розвитку вітчизняної біотехнології. Тим паче, що попит на косметичну продукцію з глікозаміногліканами в Україна є.

Література

Лич, І. В., Угрин, А. О., Волошина, І. М. (2019). Гіалуронова кислота: біосинтез та використання. *Ukrainian biopharmaceutical journal*, (59): 6—13.

Лупина, Т., Волошина, О. С. (2014). Біотехнологічний спосіб отримання гіалуронової кислоти. Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті:

програма і матеріали 80 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 10—11 квітня К.: НУХТ, 2014. Ч. 1. С. 625—626.

Павлова, О. О., Кричковська, Л. В., Омелченко, В. С. (2013). Дослідження синтезу гіалуронової кислоти мікробіологічним способом. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 301.

ТНПІК (2024). Технічний регламент про косметичну продукцію Посилання: (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/65-2021-%D0%BF#Text>).

Abbas Mohammed, A., Niamah, A. K. (2022). Production and Optimization of Hyaluronic Acid Extracted from *Streptococcus thermophilus* Isolates. *Arch. Razi Inst*, 77(6), 2395—2405. doi: 10.22092/ARI.2022.358612.2262.

Almotrefi, N. A., Gangwani, S., Alshahrani, N. A., Ibrahim, W. M. (2023). Psychological Determinants of Saudi Women's Purchase Intention of International Brand Cosmetics. *Resmilitaris*, 13(2), 3358—3371.

Amado, I. R., Vázquez, J. A., Pastrana, L., Teixeira, J. A. (2016). Cheese whey: A cost-effective alternative for hyaluronic acid production by *Streptococcus zooepidemicus*. *Food Chem.*, 198, 54—61. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.11.062.

Awofiranye, A. E., Hudson, J., Tithi, A. D., Linhardt, R. J., Vongsangnak, W., Koffas, M. A. G. (2022). Chondroitin Sulfate and Its Derivatives: A Review of Microbial and Other Production Methods. *Fermentation*, 8(7), 323. doi: 10.3390/fermentation8070323.

Badri, A., Williams, A., Awofiranye, A., Datta, P., Xia, K., He, W., ..., Koffas, M. A. G. (2021). Complete biosynthesis of a sulfated chondroitin in *Escherichia coli*. *Nat. Commun.*, 12(1), 1389. doi: 10.1038/s41467-021-21692-5.

Badri, A., Williams, A., Linhardt, R. J., Koffas, M. A. (2018). The road to animal-free glycosaminoglycan production: current efforts and bottlenecks. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 53, 85—92. doi: 10.1016/j.copbio.2017.12.018.

Balbinot-Alfaro, E., Rocha, M. D., Alfaro, A. D. T., Martins, V. G. (2021). Properties, bioactive potential and extraction processes of glycosaminoglycans: An overview. *Ciência Rural*, 51. doi: 10.1590/0103-8478cr20200821.

Benedini, L. J., Santana, M. H. (2013). Effects of soy peptone on the inoculum preparation of *Streptococcus zooepidemicus* for production of hyaluronic acid. *Bioresour. Technol.*, 130, 798—800. doi: 10.1016/j.biortech.2012.12.161.

Cai, C. M., Zhang, T., Kumar, R., Wyman, C. E. (2014). Integrated furfural production as a renewable fuel and chemical platform from lignocellulosic biomass. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 89(1), 2—10. doi: 10.1002/jctb.4168.

Cerminati, S., Leroux, M., Anselmi, P., Peirú, S., Alonso, J. C., Priem, B., Menzella, H. G. (2021). Low cost and sustainable hyaluronic acid production in a manufacturing platform based on *Bacillus subtilis* 3NA strain. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 105(8), 3075—3086. doi:10.1007/s00253-021-11246-6.

CGMP (2016). Current Good Manufacturing Practice Regulations Посилання: (<https://www.fda.gov/drugs/pharmaceutical-quality-resources/current-good-manufacturing-practice-cgmp-regulations>).

Cosmetic Regulation 1223/2009 (2009). Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on cosmetic products Посилання: (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32009R1223>).

Couto, M. R., Rodrigues, J. L., Rodrigues, L. R. (2022). Heterologous production of chondroitin. *Biotechnol Rep (Amst)*, 33, e00710. doi: 10.1016/j.btre.2022.e00710.

Cristiano, L., & Guagni, M. (2022). Zooceuticals and Cosmetic Ingredients Derived from Animals. *Cosmetics*, 9(1), 13. doi: 10.3390/cosmetics9010013.

D'ambrosio, S., Alfano, A., Cassese, E., Restaino, O. F., Barbuto Ferraiuolo, S., Finamore, R., ..., Cimini, D. (2020). Production and purification of higher molecular weight chondroitin by metabolically engineered *Escherichia coli* K4 strains. *Sci. Rep.*, 10(1), 13200. doi: 10.1038/s41598-020-70027-9.

De Oliveira, J. D., Carvalho, L. S., Gomes, A. M., Queiroz, L. R., Magalhães, B. S., Parachin, N. S. (2016). Genetic basis for hyper production of hyaluronic acid in natural and engineered microorganisms. *Microb. Cell Factories*, 15(1), 119. doi.: 10.1186/s12934-016-0517-4.

El-Helow, E. R., Atalla, R. G., Sabra, W. A., Lotfy, W. A. (2020). Kinetic studies on the expression of alginate and extracellular proteins by *Pseudomonas aeruginosa* FRD1 and PAO1. *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 66(1), 15—23. doi: 10.2323/jgam.2019.04.003.

GMP (2020). СТ-Н МОЗУ 42-4.9:2020 «Лікарські засоби. Належна виробнича практика. Спеціальні правила належної виробничої практики лікарських засобів передової терапії» Посилання: (https://www.dls.gov.ua/wp-content/uploads/2020/05/%D0%9D%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0-%D0%A1%D0%A2-%D0%9D-%D0%9C%D0%9E%D0%97%D0%A3-42-4.0_2020.pdf).

Gomes, A. M., C M Netto, J. H., Carvalho, L. S., Parachin, N. S. (2019). Heterologous Hyaluronic Acid Production in *Kluyveromyces lactis*. *Microorganisms*, 7(9), 294. doi: 10.3390/microorganisms7090294.

Gözke, G., Kirschhöfer, F., Prechtel, C., Brenner-Weiss, G., Krumov, N. V., Obst, U., Posten, C. (2017). Electrofiltration improves dead-end filtration of hyaluronic acid and presents an alternative downstream processing step that overcomes technological challenges of conventional methods. *Eng. Life Sci.*, 17(9), 970—975. doi: 10.1002/elsc.201600236.

Gottschalk, J., Elling, L. (2021). Current state on the enzymatic synthesis of glycosaminoglycans. *Curr Opin Chem Biol.*, 61, 71—80. doi: 10.1016/j.cbpa.2020.09.008.

Güngör, G., Gedikli, S., Toptaş, Y., Akgün, D. E., Demirbilek, M., Yazihan, N., ... , Çabuk, A. (2019). Bacterial hyaluronic acid production through an alternative extraction method and its characterization. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 94(6), 1843—1852. doi: 10.1002/jctb.5957.

Hmar, R. V., Prasad, S. B., Jayaraman, G., Ramachandran, K. B. (2014). Chromosomal integration of hyaluronic acid synthesis (has) genes enhances the molecular weight of hyaluronan produced in *Lactococcus lactis*. *Biotechnol. J.*, 9(12), 1554—1564. doi: 10.1002/biot.201400215.

Hu, S., Zhao, L., Hu, L., Xi, X., Zhang, Y., Wang, ... , Kang, Z. (2022). Engineering the probiotic bacterium *Escherichia coli* Nissle 1917 as an efficient cell factory for heparosan biosynthesis. *Enzyme Microb. Technol.*, 158, 110038. doi: 10.1016/j.enzmictec.2022.110038.

ISO 22716:2007 «Косметична продукція. Належна виробнича практика (GMP). Настанови щодо належної виробничої практики». Посилання: (<https://www.iso.org/standard/36437.html>).

ISO 22717:2015 «Косметична продукція. Мікробіологія. Виявлення *Pseudomonas aeruginosa*». Посилання: (<https://www.iso.org/standard/68312.html>).

ISO 22718:2015 «Косметична продукція. Мікробіологія. Виявлення *Staphylococcus aureus*». Посилання: (<https://www.iso.org/standard/68313.html>).

ISO 29621:2017 «Косметична продукція. Мікробіологія. Настанови щодо оцінювання ризиків та визначення мікробіологічно низькоризикової продукції» Посилання: (<https://www.iso.org/standard/68310.html>).

Jin, P., Zhang, L., Yuan, P., Kang, Z., Du, G., Chen, J. (2016). Efficient biosynthesis of polysaccharides chondroitin and heparosan by metabolically engineered *Bacillus subtilis*. *Carbohydr. Polym.*, 140, 424—432. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.12.065.

Jin, W., Zhang, F., Linhardt, R. J. (2021). Bioengineered production of glycosaminoglycans and their analogues. *Syst. Appl. Microbiol.*, 1, 123—130. doi: 10.1007/s43393-020-00011-x.

Lee, J., Kwon, K. H. (2022). Why is generation MZ passionate about good consumption of K-cosmetics amid the COVID-19 pandemic? *J. Cosmet. Dermatol.*, 21(8), 3208—3218. doi: 10.1111/jocd.14859.

Lu, J. F., Zhu, Y., Sun, H. L., Liang, S., Leng, F. F., Li, H. Y. (2016). Highly efficient production of hyaluronic acid by *Streptococcus zooepidemicus* R42 derived from heterologous expression of bacterial haemoglobin and mutant selection. *Lett. Appl. Microbiol.*, 62(4), 316—322. doi: 10.1111/lam.12546.

Menezes, R., Vincent, R., Osorno, L., Hu, P., Arinze, T. L. (2023). Biomaterials and tissue engineering approaches using glycosaminoglycans for tissue repair: Lessons learned from the native extracellular matrix. *Acta biomaterialia*, 163, 210—227. doi.: 10.1016/j.actbio.2022.09.064.

Mendoza-Muñoz, N., Leyva-Gómez, G., Piñón-Segundo, E., Zambrano-Zaragoza, M. L., Quintanar-Guerrero, D., Del Prado Audelo, M. L., Urbán-Morlán, Z. (2023). Trends in biopolymer science applied to cosmetics. *Int. J. Cosmet. Sci.*, 45(6), 699—724. doi: 10.1111/ics.12880.

Möller, S., Theiß, J., Deinert, T. I., Golat, K., Heinze, J., Niemeyer, D., ... , Bogner, E. (2022). High-sulfated glycosaminoglycans prevent Coronavirus replication. *Viruses*, 14(2), 413. doi: 10.3390/v14020413.

Oduah, E. I., Linhardt, R. J., Sharfstein, S. T. (2016). Heparin: Past, Present, and Future. *Pharmaceuticals (Basel, Switzerland)*, 9(3), 38. doi: 10.3390/ph9030038.

Oliveira, A. H., Oгородowski, C. C., de Macedo, A. C., Santana, M. H., Gonçalves, L. R. (2014). Cashew apple juice as microbial cultivation medium for non-immunogenic hyaluronic acid production. *Braz. J. Microbiol.*, 44(4), 1097—1104. doi: 10.1590/S1517-83822014005000017.

Ozcan, A., Germec, M., Turhan, I. (2022). Optimization and kinetic modeling of media composition for hyaluronic acid production from carob extract with *Streptococcus zooepidemicus*. *Bioprocess Biosyst Eng.*, 45(12), 2019—2029. doi: 10.1007/s00449-022-02806-9.

Pan, N. C., Pereira, H. C. B., da Silva, M. L. C., Vasconcelos, A. F. D., Celligoi, M. A. P. C. (2017). Improvement Production of Hyaluronic Acid by *Streptococcus zooepidemicus* in Sugarcane Molasses. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 182(1), 276—293. doi: 10.1007/s12010-016-2326-y.

Ph. Eur. (2022). EUROPEAN PHARMACOPOEIA Посилання: (<https://pheur.edqm.eu/home>).

Radhouani, H., Correia, S., Gonçalves, C., Reis, R. L., Oliveira, J. M. (2021). Glycosaminoglycans. In Polysaccharides of Microbial Origin: Biomedical Applications. *Mater. Sci. Eng. R Rep. MAT SCI ENG R*. 140. 100543. doi: 10.1016/j.mser.2020.100543.

Rathod, S., Mali, S., Shinde, N., Aloorkar, N. (2020). Cosmeceuticals and Beauty Care Products: Current trends with future prospects. *Research J. Topical and Cosmetic Sci.*, 11(1): 45—51. doi: 10.5958/2321-5844.2020.00008.4.

Rawat, P. S., Seyed Hameed, A. S., Meng, X., Liu, W. (2022). Utilization of glycosaminoglycans by the human gut microbiota: participating bacteria and their enzymatic machineries. *Gut Microbes*, 14(1), 2068367. doi: 10.1080/19490976.2022.2068367.

Rodriguez-Marquez, C. D., Arteaga-Marin, S., Rivas-Sánchez, A., Autrique-Hernández, R., Castor-Muñoz, R. (2022). A Review on Current Strategies for Extraction and Purification of Hyaluronic Acid. *Int. J. Mol. Sci.*, 23(11), 6038. doi: 10.3390/ijms23116038.

Salvador Ferreira, M., Magalhães, C., Sousa Lobo, J. M., Almeida, I. F. (2020). Trending Anti-Aging Peptides. *Cosmetics*, 7(4), 91. doi: 10.3390/cosmetics7040091.

Sahu, B., Shrama, D. D., Jayakumar, G. C., Madhan, B., Zameer, F. (2022). A review on an imperative by-product: Glycosaminoglycans-A Holistic approach. *Carbohydr. Polym.*, 100275. doi: 10.1016/j.carpta.2022.100275.

Segars, K. L., Trinkaus-Randall, V. (2023). Glycosaminoglycans: Roles in wound healing, formation of corneal constructs and synthetic corneas. *Ocul Surf*, 30, 85—91. doi: 10.1016/j.jtos.2023.08.008.

Sharma, R., Kataria, A., Sharma, S. and Singh, B. (2022), Structural characterisation, biological activities and pharmacological potential of glycosaminoglycans and oligosaccharides: a review. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 57: 4—15. doi: 10.1111/ijfs.15379.

Ucm, R., Aem, M., Lhb, Z., Kumar, V., Taherzadeh, M. J., Garlapati, V. K., Chandel, A. K. (2022). Comprehensive review on biotechnological production of hyaluronic acid: status, innovation, market and applications. *Bioengineered*, 13(4), 9645—9661. doi: 10.1080/21655979.2022.2057760.

USP-NF (2023). United States Pharmacopeia-National Formulary <1276> «Hyaluronan» Посилання: (<https://login.usp.org/cas/login?service=https%3A%2F%2Fonline.uspnf.com%2Fcas%2Flogin>).

Vázquez, J., Pastrana, L., Piñeiro, C., Teixeira, J., Pérez-Martín, R., Amado, I. (2015). Production of Hyaluronic Acid by *Streptococcus zooepidemicus* on Protein Substrates Obtained from Scyliorhinus canicula Discards. *Marine Drugs*, 13(10), 6537—6549. doi: 10.3390/md13106537.

Valentine, M. E., Kirby, B. D., Withers, T. R., Johnson, S. L., Long, T. E., Hao, Y., ... , Yu, H. D. (2020). Generation of a highly attenuated strain of *Pseudomonas aeruginosa* for commercial production of alginate. *Microb. Biotechnol.*, 13(1), 162—175. doi: 10.1111/1751-7915.13411.

Wang, J., He, W., Wang, T., Li, M., Li, X. (2021). Sucrose-modified iron nanoparticles for highly efficient microbial production of hyaluronic acid by *Streptococcus zooepidemicus*. *Colloids Surf. B*, 205, 111854. doi: 10.1016/j.colsurfb.2021.111854.

Wieboldt, R., Läubli, H. (2022). Glycosaminoglycans in cancer therapy. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.*, 322(6), 1187—1200. doi: 10.1152/ajpcell.00063.2022.

Williams, A., Gedeon, K. S., Vaidyanathan, D., Yu, Y., Collins, C. H., Dordick, J. S., Linhardt, R. J., Koffas, M. A. G. (2019). Metabolic engineering of *Bacillus megaterium* for heparosan biosynthesis using *Pasteurella multocida* heparosan synthase, PmHS2. *Microb. Cell Factories*, 18(1), 132. doi: 10.1186/s12934-019-1187-9.

Woo, J. E., Seong, H. J., Lee, S. Y., Jang, Y. S. (2019). Metabolic Engineering of *Escherichia coli* for the Production of Hyaluronic Acid From Glucose and Galactose. *Front. bioeng. biotechnol.*, 7, 351. doi: 10.3389/fbioe.2019.00351.

Yoshimura, T., Shibata, N., Hamano, Y., & Yamanaka, K. (2015). Heterologous Production of Hyaluronic Acid in an ϵ -Poly-L-Lysine Producer, *Streptomyces albulus*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 81(11), 3631—3640. doi: 10.1128/AEM.00269-15.

Zhou, Z., Li, Q., Huang, H., Wang, H., Wang, Y., Du, G., Chen, J., Kang, Z. (2018). A microbial-enzymatic strategy for producing chondroitin sulfate glycosaminoglycans. *Biotechnol. Bioeng.*, 115(6), 1561—1570. doi: 10.1002/bit.26577.

Zhang, Y., Wang, Y., Zhou, Z., Wang, P., Xi, X., Hu, S., ..., & Kang, Z. (2022). Synthesis of bio-engineered heparin by recombinant yeast *Pichia pastoris*. *Green Chem.*, 24(8), 3180—3. doi: 10.1039/D1GC04672A.

IMPROVEMENT OF THE PYRAMID MODEL OF CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY OF THE FOOD INDUSTRY ENTERPRISES

A. Rudova, O. Dragan

National University of Food Technologies

Key words:

Corporate social
responsibility
Pyramid
Levels
Reputational
responsibility
Artificial intelligence
Enterprises
Food industry

Article history:

Received 04.01.2024
Received in revised form
19.01.2024
Accepted 03.02.2024

Corresponding author:

A. Rudova

E-mail:

anastasiyarudova39@gmail.
com

Citation: Рудова А. Я., Драган О. І. (2024). Удосконалення моделі піраміди корпоративної соціальної відповідальності підприємств харчової промисловості. *Наукові праці НУХТ*, 30(1), 68—80. DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-1-8

ABSTRACT

Theoretical and practical approach to the construction of the pyramid of corporate social responsibility (CSR) of the food industry enterprises was investigated. The evolution of creation and modifications of CSR pyramid in scientific works is observed in details, beginning from the founder of CSR pyramid A. Carroll that was based on 4 constituents — economic, legal, ethical and charity responsibility. Modification of CSR pyramid was made by V. Wiser that envisaged basing on the economic constituent and addition levels is charity, legal and ethical responsibility. The CSR pyramid of D. Baden on higher level put ethical responsibility for the coexistence of the enterprises, public, society in a competition medium. The pyramid CSR by N. Masud included a new term taking into account global responsibility (association of global and local) international level of economic relations and increase of stakeholders' role and managers of companies. The CSR pyramid by N. Bacharova and A. Shchepylina took into account 7 levels of responsibility (organizationally-economic, legal, technical and technological, ecological, sociocultural, ethical and charity) and is divided into external and internal. At the same time, modern model of CSR pyramid must be dynamic, flexible and adapted to the permanent changes. Modern food industry enterprises are the powerful mechanized productions, highly automated, have highly skilled personnel that actively inculcate digital technologies in activity, including artificial intelligence. It offers to complement the CSR pyramid due to the new level of responsibility for the use of artificial intelligence (AI). In particular, enterprises will aim to not only improve the technical and technological level of production, attain high economic results, and provide the competitiveness of products at the market, but to care of personnel in relation to protecting from unforeseen threats, abuses of application of AI. The addition of CSR pyramid by the reputation responsibility that more expedient and simultaneously unites few directions — ethics, sociocultural projects, and charity is reasonable. It offers to distinguish responsibility for labour and environment protection for harmonious balance in providing of employees' safety, health, and environmental preservation by the food industry enterprises.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-1-8

УДОСКОНАЛЕННЯ ПІРАМІДИ КОРПОРАТИВНОЇ СОЦІАЛЬНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

А. Я. Рудова, О. І. Драган

Національний університет харчових технологій

У статті досліджені теоретико-практичні підходи до побудови піраміди корпоративної соціальної відповідальності у розрізі підприємств харчової промисловості. Детально прослідковано еволюцію створення та модифікації піраміди корпоративної соціальної відповідальності в наукових працях. Так, засновник піраміди КСВ А. Б. Керолл виокремлює чотири складові — економічну, правову, етичну та благодійну відповідальність. Модифікація піраміди КСВ В. Візером передбачає, що базуючись на економічній складовій доповнена рівнями — благодійна, правова та етична відповідальність. Піраміда КСВ Д. Бадена на вищій рівень ставить етичну відповідальність для співіснування підприємств, громадської спільноти, суспільства у конкурентному середовищі. Піраміда КСВ Н. Масуда доповнена новим терміном глокальна (об'єднання глобальна і локальна) відповідальність, враховуючи міжнародний рівень економічних відносин, зростання ролі стейкхолдерів і менеджерів компаній. Піраміда КСВ Н. Бочарової та А. Щепиліної враховує сім рівнів відповідальності (організаційно-економічна, правова, техніко-технологічна, екологічна, соціально-культурна, етична і благодійна) та поділ на зовнішню та внутрішню КСВ.

Доведено, що сучасна модель піраміди КСВ має бути динамічною, гнучкою та адаптованою до змін. Сучасні підприємства харчової промисловості — потужні високоавтоматизовані, механізовані виробництва, мають висококваліфікований персонал, які активно впроваджують цифрові технології у діяльність, у тому числі, і штучний інтелект. Запропоновано доповнити піраміду КСВ за рахунок нового рівня — відповідальності за використання штучного інтелекту (ШІ). Зокрема, згідно з цією відповідальністю підприємства харчової промисловості будуть прагнути не тільки покращити техніко-технологічний рівень виробництва, досягти високих економічних результатів, забезпечити конкурентоспроможність продукції на ринку, а й, піклуватися про персонал щодо захисту від непередбачених загроз, зловживань застосування ШІ. Обґрунтовано доповнити піраміду КСВ репутаційною відповідальністю, яка більш доцільна і одночасно об'єднує декілька напрямків — етику, соціально-культурні проекти, благодійництво, волонтерство. Виокремлено відповідальність за охорону праці та довкілля для гармонійного балансу у забезпеченні безпеки та здоров'я співробітників і збереження навколишнього середовища підприємствами харчової промисловості.

Ключові слова: корпоративна соціальна відповідальність, піраміда, рівні, репутаційна відповідальність, штучний інтелект, підприємства, харчова промисловість.

Постановка проблеми. Дотримання концепції корпоративної соціальної відповідальності (КСВ) є одним із важливих етапів ведення підприємницької діяльності. Концепція КСВ відображає зобов'язання бізнесу перед своїми співробітниками, споживачами власного продукту/послуг та навколишнім середовищем, сприяє покращенню репутації підприємства, збільшує довіру до бренду. Сучасні фахівці не тільки шукають престижну високооплачувану роботу, а й прагнуть працювати у соціально-відповідальній компанії. Більшість підприємств харчової промисловості наголошують на дотриманні корпоративної соціальної відповідальності шляхом добровільних внесків у соціальну, економічну й екологічну сфери, які пов'язані з діяльністю та досягненням стратегічних цілей компаній і розвитку суспільства як бізнес-середовища. З огляду на викладене вище, дослідження піраміди корпоративної соціальної відповідальності для підприємств харчової промисловості є актуальним для подальшого удосконалення напрямків діяльності на перспективу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Створення та модифікація піраміди корпоративної соціальної відповідальності досліджується в працях як зарубіжних, так і вітчизняних вчених.

Засновником піраміди КСВ є А. Б. Керолл (Carroll, 1991), дослідження якого визначили чотири складові піраміди (економічна, правова, етична та благодійна відповідальність) та стали основою для майбутніх модифікацій, оскільки автор не вважав піраміду завершеною.

Перша модифікація піраміди Керолла була запропонована В. Візером (Visser, 2008), який адаптував піраміду і для країн, що розвиваються. В його піраміді основою є економічна складова, наступними рівнями — благодійна, правова та етична відповідальність. У праці Д. Бадена (Baden, 2016) пріоритетною складовою піраміди є етична відповідальність, а не економічна, оскільки в конкурентному середовищі підприємство ставить прибуток понад законом і соціальною складовою, не турбуючись про власних працівників.

Метою досліджень Н. Масуда (Masoud, 2018) була ідея створити міжнародну піраміду КСВ, яка б не обмежувалась лише базовими складовими піраміди Керолла. Відповідно, запропонована автором модель розглядала економічну відповідальність як основу піраміди, включала в себе абсолютно новий термін глокальна відповідальність, правову, етичну та благодійну діяльність.

Серед вітчизняних науковців заслуговує на увагу праця Н. Бочарової та А. Щепиліної (Бочарова, & Щепиліна, 2018), які розширили піраміду КСВ до семи рівнів відповідальності та розділили її на зовнішню та внутрішню. Поштовхом стала ідея порівняти піраміду КСВ з пірамідою ієрархії потреб А. Маслоу.

Водночас піраміда корпоративної соціальної відповідальності і досі потребує подальшого дослідження, оскільки сучасний світ розвивається і кожна компанія може створювати свої унікальні рівні відповідальності під час створення стратегії сталого розвитку та програм корпоративної соціальної відповідальності, наприклад, підприємств харчової промисловості.

Метою дослідження є узагальнення теоретичних підходів до побудови піраміди корпоративної соціальної відповідальності у розрізі підприємств харчової промисловості.

Матеріали і методи. В процесі дослідження було використано такі загальнонаукові методи, як аналіз, синтез, індукція і дедукція, історичний метод, для вивчення походження піраміди корпоративної соціальної відповідальності, а також метод узагальнення — для обґрунтування власної моделі піраміди КСВ підприємств харчової промисловості.

Викладення основних матеріалів дослідження. Еволюція КСВ пройшла багато етапів, на одному з яких А. Керолл визначив, що модель має охоплювати чотири типи соціальної відповідальності підприємства: економічну, правову, етичну та дискреційну — сфера, в якій не було сформовано визначених очікувань і за змістом може передбачати індивідуальний вибір менеджера (Carroll's, 2022). Далі, вивчаючи праці розробників фундаменту КСВ, А. Керолл заклав в неї управлінський контекст, за якого менеджеру буде легше ідентифікувати причини певних дій бізнесу. У 1991 р. дослідник запропонував модель піраміди корпоративної соціальної відповідальності (рис. 1), яка розподілена за такими рівнями (Carroll's, 2022; Carrol, 2023; The Pyramid, 2023):



Рис. 1. Піраміда корпоративної соціальної відповідальності за А. Кероллом, сформовано авторами на основі (Carroll, 1991)

- І рівень — економічна відповідальність. Без задоволення цього рівня підприємство не може перейти до фінансування інших. Компанія має бути прибутковою, фінансово стабільно та прозорою. Цей рівень також включає в себе зведення витрат до мінімуму, збільшення доходу, інвестування в довгострокові цілі тощо. Економічно відповідальне підприємство може створювати і підтримувати робочі місця, а також пропонувати корисні, нешкідливі продукти та послуги суспільству. Підприємство, яке перейшло на використання екологічного упакування потенційно задовільнить три складові наведеної піраміди: економічну, правову та етичну.

- II рівень — правова відповідальність. Чи дотримується підприємство чинного законодавства країни, в якій веде діяльність? Чи не порушуються права працівників підприємства? Чи здійснює підприємство безпечну діяльність без навмисної шкоди довкіллю? Недотримання закону або корупційні схеми призведуть до фінансових втрат і шкоди бренду компанії. Дотримання юридичної відповідальності, звітування про ведення діяльності, прозорість дають змогу підприємству рухатись далі у розвитку КСВ. Прикладом використання цього елемента у

КСВ може бути участь підприємства у програмі енергоефективності, тобто компанія виробляє продукцію, виробництво якої є досить енергозатратним і може негативно вплинути на навколишнє середовище. В законодавстві країни можуть бути відсутні обов'язкові вимоги стосовно цього і компанія може добровільно взяти участь у програмі енергоефективності, за якої розробляється стратегія зменшення споживання енергії та встановлюється нове обладнання. Таким чином забезпечується правова й екологічна складова завдяки зменшенню викидів шкідливих речовин та створюється позитивний імідж бренду.

- III рівень — етична відповідальність. Підприємство має дотримуватись моральних та етичних норм у всіх аспектах діяльності підприємства. Етична складова втілює ті стандарти й норми, які відображають турботу про споживачів, працівників, суспільство, довкілля та інші зацікавлені сторони. Яскравим прикладом є Carlsberg Ukraine та їх програма сталого розвитку «Разом до НУЛЯ і не тільки»: «зменшити вуглецевий слід від виробництва до 0», «0 безвідповідального споживання» — збільшення безалкогольного асортименту для боротьби зі споживанням алкоголю серед неповнолітніх, «0 нещасних випадків» — безпека на виробництві і турбота про здоров'я працівників, «0 втрат води» — очищення води та повторне її використання (Разом до НУЛЯ, 2023);

- IV рівень — благодійна відповідальність. Підприємства спрямовують фінансову або матеріальну підтримку соціальних і благодійних ініціатив, що сприяють поліпшенню життя суспільства, співробітників та інших груп. Найбільш повно це було продемонстровано після початку пандемії COVID-19 та повномасштабного вторгнення до України.

Піраміда КСВ Керолла демонструє, що розвиток і успіх однієї з ланок відповідальності буде недостатнім: розвиваючи тільки економічну складову підприємство втратить свій імідж, споживачів, буде мати велику плінність кадрів через недостатній розвиток бренду-роботодавця і втратить ряд переваг, яких могло б досягти, розвиваючи й інші складові.

Піраміда Керолла набула популярності серед прихильників концепції соціальної відповідальності, тому вона пройшла через ряд модифікацій з метою адаптації до умов міжнародного ведення підприємницької діяльності. А. Керолл не вважав свою модель КСВ завершеною, такою, на яку має спиратись весь бізнес. Модель є гнучкою, постійно модифікується і доповнюється відповідно до сучасних вимог.

У 2006 р. В. Візер запропонував свою модифікацію базової піраміди КСВ Керолла доповнивши вже існуючу концепцію виокремленням нових складових (рис. 2) для країн, що розвиваються (Visser, 2008).

Відповідно до проведеного дослідження було визначено, що економічна складова є найбільш впливовою. На другому місці — благодійна складова, далі права, на вершині — етична (Visser, 2008):

- I рівень — економічна відповідальність. Створення сприятливих умов для відповідального бізнесу в країнах, що розвиваються, для якого економічні питання та сталий розвиток компанії буде на першому місці. Країни, що розвиваються, спрямовували КСВ на можливості генерувати інвестиції та доходи, виробляти

безпечні продукти та послуги, створювати нові робочі місця та інвестувати в людський капітал тощо.



Рис. 2. Піраміда корпоративної соціальної відповідальності Візера для країн, що розвиваються, сформовано авторами на основі (Visser, 2008)

- II рівень — благодійна відповідальність. Благодійність розглядається як можливість покращити імідж серед власних працівників, споживачів і суспільства, де компанія веде свою підприємницьку діяльність. Як приклад В. Візер згадує благодійну акцію, яку компанія провела для хворих на ВІЛ/СНІД, що не є професійним захворюванням, підтримуючи таким чином своїх працівників і споживачів.

- III рівень — правова відповідальність. Оскільки для країн, що розвиваються, ця ланка має менший пріоритет, необхідно розвивати відповідальність бізнесу, висвітлювати, як він сплачує податки, взаємодіє із законом, включати аспекти прав людини та охорони праці в пріоритети компанії;

- IV рівень — етична відповідальність. Для країн, що розвиваються, етична відповідальність має найменшу значимість у моделі КСВ, тому важливим аспектом у розвитку цього питання було створення глобального кодексу корпоративного управління, який залучав стейкхолдерів, включення до звітності розділу про інтегровану звітність щодо сталого розвитку, питання щодо подолання корупції, створення ініціативи прозорості галузі тощо.

Д. Баден вважав, що підприємництво в конкурентному середовищі ставить власний прибуток понад законом, порушуючи цим правові та етичні бізнес-практики (Baden, 2016). В розрізі піраміди КСВ перебування економічної складової на першому рівні було піддано критиці багатьма науковцями, оскільки бізнес, націлений на прибуток, забуває про соціальну складову, не переймається проблемами працівників і суспільства.

Д. Баден опитав 400 респондентів різної національної приналежності, вікової структури та гендеру, представників державних установ та бізнес-підприємств. Кожен респондент отримав по декілька прикладів на кожен рівень базової піраміди КСВ Керолла (для уникнення необдуманих швидких відповідей) і розставив ці чотири рівні відповідальності за значущістю (Baden, 2016). Узагальнивши результати опитування, А. Баден зміг вивести свій варіант піраміди КСВ (рис. 3).



Рис. 3. Піраміда корпоративної соціальної відповідальності Бадена, сформовано авторами на основі (Baden, 2016)

У 2018 р. вийшло дослідження Н. Масуда, у якому йшлося про створення міжнародної піраміди корпоративної соціальної відповідальності на основі попередніх модифікацій (Masoud, 2018). Н. Масуд відзначив, що піраміда Керолла та Візера є обмеженою в змінах та модифікаціях та не охоплює всі сфери відповідальності бізнесу. У своєму дослідженні Н. Масуд запропонував виділяти такі рівні піраміди: економічний, глокальний, правовий, етичний, благодійний (рис. 4).



Рис. 4. Міжнародна піраміда корпоративної соціальної відповідальності за Н. Масудом, сформовано авторами на основі (Masoud, 2018)

Глокальний рівень в КСВ включає в себе локальний і глобальний рівень, а його складовими є навколишнє середовище, соціально-культурні аспекти, добросовісне використання технологій та політичні права. Сенс глокального рівня є в тому, що він гнучкий і може займати будь-яке місце в рівнях піраміди, залежно від пріоритетів ведення бізнесу. Глокальний рівень може бути на другому або третьому місці за значимістю або знаходитись на вершині (Masoud, 2018). Єдиним негнучким рівнем є економічна відповідальність, яка і буде основою піраміди. Унікальність цього рівня в тому, що він є причиною існування компанії і саме через доходи буде стимулюватись економіка країни, рівень безробіття та інвестиційні можливості.

Міжнародна піраміда КСВ Масуда передбачає зростання ролі стейкхолдерів і менеджерів у дотриманні соціальної відповідальності компанії. Щоб бути соціально відповідальним бізнесом, необхідно вести бізнес законно, етично, благо-дійно, роблячи глобальний внесок у розвиток економіки країн.

Важливою особливістю піраміди Масуда є те, що її можна сприймати як фун-дамент КСВ, так і гнучкий інструмент, який адаптується до змін сучасності або до майбутніх тенденцій. У питаннях соціальної відповідальності суспільство потре-бує більших змін, які мають надавати компанії харчової промисловості, щоб задо-вільнити потреби суспільства, покращувати свою репутацію та збільшити кіль-кість споживачів продукції.

Піраміду корпоративної соціальної відповідальності можна розширити, що й зробили Н. Бочарова та А. Щепиліна, запропонувавши додати декілька видів від-повідальності та розділили піраміду КСВ на зовнішню та внутрішню (рис. 5). Основою такого рішення було порівняння піраміди КСВ з пірамідою ієрархії по-треб Маслоу А. На думку розробників, пріоритетними мають бути потреби су-спільства, а не однієї особи/підприємства (Бочарова, & Щепиліна, 2018).



Рис. 5. Піраміда корпоративної соціальної відповідальності Н. Бочарової та А. Щепиліної, формовано авторами на основі (Бочарова, & Щепиліна, 2018)

Отже, автори додали декілька рівнів і описали їх значимість для обох видів КСВ. Зовнішня КСВ передбачає взаємодію із суспільством, навколишнім сере-довищем, внутрішня — власні інтереси та охорону безпеки праці співробітників. Характеристика відмінностей зовнішнього та внутрішнього напрямків у КСВ на-ведена в табл. 1.

Таблиця 1. Відмінності зовнішнього та внутрішнього напрямків у КСВ

Рівень відповідальності	Характеристика КСВ	
	Зовнішніє направлення	Внутрішніє направлення
Організаційно-економічний	Компанія задовольняє потре-би споживачів, справедливе ціноутворення, створення ро-бочих місць, внесок в еконо-міку країни	Компанія отримує прибуток — го-ловна мета діяльності підприємства. Своєчасна та справедлива оплата праці співробітників та їх мотивація

Продовження таблиці 1

Правовий	Компанія дотримується вимог і норм чинного законодавства країни, в якій ведеться діяльність, своєчасна та повна сплата податків, прозора надання звітності	Компанія дотримується прав людини стосовно працівників, здійснює документальне оформлення трудових відносин, відображає реальні умови праці, надає передбачену законом відпустку, соціальні гарантії, а працівники мають сумлінно виконувати свої обов'язки перед роботодавцем
Техніко-технологічний	Компанія зобов'язана вкладати кошти в оновлення технологій для зростання виробництва, покращення якості продукції та послуг, бути інноваційно-активною	Компанія піклується про охорону праці та техніку безпеки під час діяльності працівників, розвиток матеріально-технічної бази, своєчасне оновлення техніки та заміна робочого устаткування при появі небезпеки здоров'ю працівника (рівень шуму, запиленість приміщення тощо)
Екологічний	Компанія займається питанням збереження навколишнього середовища (зменшення екологічного відбитку, пошук альтернативних джерел енергії, дотримання існуючих екологічних стандартів тощо)	Компанія дотримується санітарно-гігієнічних норм на робочому місці, поліпшує соціально-побутові умови життя персоналу та екологічну безпеку на робочому місці (спонукання до ресайклінгу на робочому місці)
Соціально-культурний	Компанія займається розвитком культурних ініціатив (спорт, мистецтво, музика тощо), зберігає культурну спадщину шляхом її відновлення, дотримується культурних норм і цінностей, а також залучає та підтримує незахищені верстви населення	Компанія задовольняє потребу співробітників в особистому визнанні, визнанні їх досягнень, соціального статусу та самовираження, створення можливості для кар'єрного зростання та перепідготовки або підвищення кваліфікації, розширення соціального пакета тощо
Етичний	Компанія надає відкриту й прозору інформацію про ведення діяльності, звітність та якість продукції, а також дотримується норм моралі і відповідає очікуванням стейкхолдерів	Компанія формує корпоративну культуру та кодекс корпоративної етики
Благодійний	Компанія бере активну участь у реалізації соціальних програм і благодійних заходів для підтримки та розвитку суспільства (проекти для дітей, підтримка лікарень і благодійних фондів тощо)	Компанія залучає співробітників до волонтерської діяльності, участі співробітників у благодійних проєктах на добровільній zasadі (благодійний завіт, донорство крові, допомога притулкам тощо)

Джерело: Сформовано та доповнено авторами на основі (Бочарова & Щепиліна, 2018).

Відповідно до наведеної характеристики відмінностей зовнішнього та внутрішнього напрямків у КСВ можна визначити, що персонал є важливою складовою у формуванні стратегії сталого розвитку та дотриманні концепції корпоративної соціальної відповідальності бізнесу. Якщо бізнес піклується про власних працівників і про бренд роботодавця, він матиме більше поваги від суспільства, зменшить плинність кадрів, покращуватиме власні показники діяльності та впливатиме на економіку країни.

Звертаючи увагу на актуальну концепцію формування бренду роботодавця компанії, можна також зазначити, що саме етична, соціально-культурна і благодійна відповідальності об'єднуються під сутністю «репутаційна відповідальність». Для того, щоб зберегти свою репутацію, особливо великій компанії, за якою активно слідкують і яка бажає вийти на міжнародний рівень, підприємство має (Драган, & Бергер, 2022):

- дотримуватись прозорості, чесності, етичних норм ведення діяльності;
- звертати увагу на запити суспільства при дотриманні концепції сталого розвитку;
- розвивати бренд роботодавця компаній для залучення нових споживачів і висококваліфікованих спеціалістів, зменшення плинності кадрів на підприємстві, який включає соціально-культурні проекти, волонтерство, благодійність, захист навколишнього середовища, програми велбеінгу тощо.

За моделлю піраміди корпоративної соціальної відповідальності побудована не одна стратегія сталого розвитку підприємств та програми КСВ, які нині займають переможні місця в різноманітних номінаціях. Зокрема, у 2023 р. відбулася «Премія HR-бренд Україна», під час якої були названі кращі проекти в сфері бренд-іміджу роботодавця та управління людським капіталом, який також включає в себе елементи КСВ. У номінації подаються інноваційні проекти в HR, кейси з автоматизації HR-процесів, HR-аналітики та використання Big Data, діджитальне робоче середовище, гейміфікація в навчанні, розвитку тощо. Серед переможців — підприємства харчової промисловості України, а саме «МХП» (перемога в 7 номінаціях), «Kernel» (перемога в 2 номінаціях) та «Хлібпром» (перемога в 1 номінації) (Премія, 2023).

Компанії «МХП» та «Kernel» мають сильний розвинутий бренд і продовжують розвивати свою корпоративну соціальну відповідальність, спираючись на піраміду КСВ та її модифікації. Тому вважаємо, що потрібно виокремити репутаційну відповідальність у піраміді КСВ, яка більш доцільна й об'єднує декілька напрямків для підприємств харчової промисловості.

На нашу думку, однією з ланок КСВ повинна бути відповідальність за використання штучного інтелекту (ШІ). Використання штучного інтелекту зараз зустрічається у повсякденному та професійному житті в різноманітних галузях, починаючи з медицини, освіти, сільського господарства та інших ланок (Клян, 2022). Що стосується українського суспільства, то найбільше занепокоєння спостерігається серед професійних ілюстраторів, які відчуються зменшення кількості замовлень, оскільки алгоритми штучного інтелекту при отриманні запиту на ілюстрацію можуть обробляти стиль будь-якого автора і сформувані безкоштовну ілюстрацію. Зараз його використання тільки набирає значних обертів, проте людство занепокоєне, що ШІ може порушувати авторські права. Так, Спеціальний

комітет зі штучного інтелекту при Раді Європи, членом якого є Україна, обговорив питання відповідальності, пов'язані з використанням ШІ (Клян, 2022).

Починаючи з 2021 р., Європейська комісія розробляє етичні принципи та правові норми стосовно використання штучного інтелекту. Так, було розроблено перший законопроект про ШІ «Artificial Intelligence Act», метою якого є створення безпечного середовища для використання ШІ та його розвитку (Proposal, 2021). Окрім цього, в 2020 р. було створено Концепцію розвитку штучного інтелекту в Україні, в якій визначено мету, принципи, завдання та напрями розвитку технологій ШІ в Україні на законодавчому рівні. Реалізація концепції передбачена до 2030 р. (Про схвалення Концепції, 2020).

Зокрема, особливу увагу починають приділяти відповідальності за використання ШІ в освітньому процесі, особливо при написанні кваліфікаційних робіт. Незабаром системи для перевірки плагіату, що використовують університети, включатимуть також перевірку на наявність тексту, написаного штучним інтелектом.

Отже, можемо запропонувати власну піраміду КСВ, яка стане, на наш погляд, актуальною і затребуваною (рис. 6).

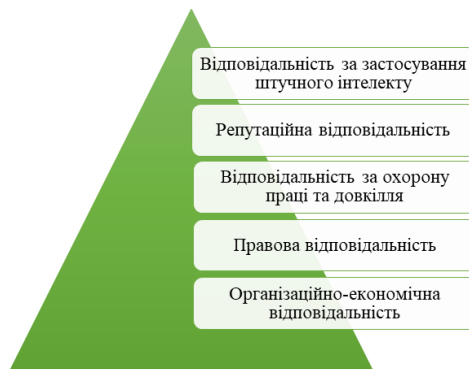


Рис. 6. Піраміда корпоративної соціальної відповідальності, розроблено авторами

Запропоновано виокремити відповідальність за охорону праці та довкілля в один рівень, оскільки вона підкреслюватиме баланс у забезпеченні безпеки та здоров'я співробітників, збереження навколишнього середовища. Наприклад, використання інноваційних технологій при переробці відходів на підприємствах харчової промисловості, які є безпечнішими в управлінні і менш енергозатратними, сприяють дотриманню правил і норм з охорони праці працівників і забезпечують безпеку навколишнього середовища. Ці складові також є гнучкими і за потреби можна розділити або застосовувати в дослідженні на рівні підприємства дві піраміди КСВ (зовнішня та внутрішня).

На жаль, підприємства харчової промисловості часто роблять основний акцент на питаннях фінансів, екології, благодійності і не піклуються про власний персонал, без якого компанія взагалі не може ефективно працювати.

Висновки

Сьогодення диктує, що сучасна модель піраміди КСВ має бути динамічною та легко адаптованою до змін. Тобто, враховуючи глобальні зміни, розвиток цифрових технологій, політичні та соціальні аспекти, піраміда КСВ повинна мати

здатність змінюватись відповідно до потреб компанії, працівників та суспільства в цілому. Прикладом динамічності та адаптивності стратегії КСВ до нових умов можна назвати як пандемію COVID-2019, так і повномасштабне вторгнення в Україну, коли компанії надають свої працівникам тимчасове житло, релокацію, хтось зобов'язується облаштовувати укриття для співробітників і громадян, фокусування на підтримці армії, тощо.

Піраміда КСВ повинна адаптуватися до змін і може мати різні рівні відповідальності на підприємствах харчової промисловості, бути вузкою або ширшою, змінюватись відповідно до потреб суспільства або появи нових загроз. Вважаємо, що піраміда КСВ повинна доповнитися за рахунок нового рівня — відповідальності за використання штучного інтелекту (ШІ). Не можна ігнорувати і не зважати на стрімкий розвиток та впровадження ШІ в діяльність компаній харчової промисловості. Найближчі десятиліття передбачається радикальна перебудова соціально-економічної політики країн під впливом ШІ — кардинально змінюється сценарій роботи і зайнятості. Отже, підприємства харчової промисловості повинні бути готові нести відповідальність за використання штучного інтелекту (ШІ) не тільки заради економічного результату, але й з метою запобігання зловживанням і потенційним загрозам для персоналу.

У подальших дослідженнях потрібно, використовуючи запропоновану піраміду КСВ, обґрунтувати комплекс трудових практик на підприємствах харчової промисловості, завдяки яким буде розвиватися соціальна складова КСВ.

Література

Бочарова, Н. А., Щепіліна, А. К. (2018). Інтегральна оцінка рівня корпоративної соціальної відповідальності підприємства. *Економіка транспортного комплексу*, 31, 45—62.

Драган, О. І., Бергер, А. Д. (2022). Методичний підхід до оцінки рівня ефективності корпоративної соціальної відповідальності підприємства харчової промисловості. *Теоретико-прикладні підходи до формування соціальної відповідальності підприємств харчової промисловості*: колективна монографія, 60—74.

Клян, А. (2022). Правове регулювання штучного інтелекту в Україні та світі. *Golaw*. Взято з: <https://golaw.ua/ua/insights/publication/pravove-regulyuvannya-shtuchnogo-intelektu-v-ukrayini-ta-sviti/> (дата звернення 05.11.2023).

Колот, А. М. (2013). Корпоративна соціальна відповідальність: еволюція та розвиток теоретичних поглядів. *Економічна теорія*, 5—26.

Премія HR-бренд Україна. (2023). Взято з: <https://hr-brand.com/win2023>.

Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні. Верховна Рада України. (2020). Взято з: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#Text>.

Разом до НУЛІА і не тільки. *Carlsberg Ukraine*. (2023). Взято з: <https://www.carlsbergukraine.com/v-dpov-dal-nii-rozvitok/nash-ts-l/>.

Baden, D. (2016). A reconstruction of Carroll's pyramid of corporate social responsibility for the 21st century. *International Journal of Corporate Social Responsibility*, 1. DOI:10.1186/s40991-016-0008-2.

Carroll, A. B. (1991). The pyramid of corporate social responsibility: Toward the moral management of organizational stakeholders. *Business Horizons*, 38—48. Взято з: <http://surl.li/mhnmmb>.

Carroll's pyramid of corporate social responsibility. (2022). *MindTools*. Взято з: <http://surl.li/mhppe>.

Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50(4), 370—396. DOI: 10.1037/h0054346.

Masoud, N. (2017). How to win the battle of ideas in corporate social responsibility: the International Pyramid Model of CSR. *International Journal of Corporate Social Responsibility*, 4. DOI: 10.1186/s40991-017-0015-y.

Proposal for a regulation of the European Parliament and of the council laying down harmonized rules on artificial intelligence (artificial intelligence act) and amending certain union legislative acts. (2021). *EUR-Lex*. Взято з: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52021PC0206>.

The Pyramid of Corporate Social Responsibility for Sustainable Manufacturing. (2023). *LeanDNA*. Взято з: <http://surl.li/mhpph>.

Visser, W. (2008). Corporate Social Responsibility in developing countries. *The Oxford handbook of corporate social responsibility*. Chapter 21. P. 473—500. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/318094922_Corporate_Social_Responsibility_in_Developing_Countries.

DIGITAL TRANSFORMATION OF BUSINESS IN FOOD INDUSTRY COMPANIES

A. Berher

National University of Food Technologies

Key words:

Digital technologies
Digital business
Transformation
Business processes
Company
Food industry

Article history:

Received 10.01.2024
Received in revised form
26.01.2024
Accepted 12.02.2024

Corresponding author:

A. Berher

E-mail:

alinaberger2016@gmail.com

Citation: Бергер А. Д.
(2024). Цифрова трансформація бізнесу в компаніях харчової індустрії. *Наукові праці НУХТ*, 30(1), 81—90.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-1-9

ABSTRACT

The article is sanctified to the question of digital transformation of business in the food industry companies. Digital transformation of business is aimed at the improvement of production, realization of products and customers service by means of the newest technologies. At the same time, it is a systematic set of events for development of company in digital space. For every successful food industry company the application of project approach to the business and use of data – driven decisions, equipment studies and artificial intelligence, and also modern methods of communication and continuous tracking of efficiency of personnel is obligatory. The aim of digital transformation changes is to promote work efficiency of food industry companies and surpass the economic results of activity of previous years. Priority directions of digital technologies introduction in the food industry companies were generalized, namely, Precision Farming is exact agriculture: Internet of Things (IoT) in agriculture; Blockchain for the chain of supply; Automated Food Processing application of automated systems and robots for production and treatment of food products; Digital Supply Chain Management; use of digital technologies and software for optimization of chain supply management, from a supplier to the consumer; Mobile Apps for of Food Retail is mobile additions for retail business of food products and other.

The examples of successful digital transformation of business processes in the different types of activity and similar productions of food industry company are John Deere (agriculture); Nestle (production and processing); MHP (agriculture), IBM Food Trust (logistics and supply); Blue Apron (consumers maintenance); AeroFarms (agriculture); Zest Fresh (logistics and supply); McDonald's, Chowbotics and Starbucks (retail business); Ocado (logistics and supply); Barilla (production and processing); FarmLogs (agriculture); Kelner (transportation of products), Coca-Cola (products are developed by AI) and other.

Thus, digital transformation of business allows to concentrate on the processes of production and realization of food products, not squander time on conservative operations, to become more competitive.

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ БІЗНЕСУ В КОМПАНІЯХ ХАРЧОВОЇ ІНДУСТРІЇ

А. Д. Бергер

Національний університет харчових технологій

Стаття присвячена питанню цифрової трансформації бізнесу в компаніях харчової індустрії. Застосування традиційних інструментів удосконалення бізнес-процесів компаній суттєво поступається внесеним змінам за допомогою цифрових технологій у швидкості, якості, масштабності й отриманні кінцевих економічних результатів. Цифрова трансформація бізнесу спрямована на поліпшення виробництва, реалізації продукції та обслуговування клієнтів за допомогою новітніх технологій, яка надає систематичний набір заходів для розвитку компанії у цифровому просторі. Для кожної успішної компанії харчової індустрії вже є обов'язковим застосування проєктного підходу до бізнесу, використання *data-driven* рішень, машинного навчання та штучного інтелекту, а також сучасних способів комунікації, безперервного трекінгу ефективності персоналу. Узагальнені пріоритетні напрямки впровадження цифрових технологій у компаніях харчової індустрії: *Precision Farming* — точне землеробство; *Internet of Things (IoT)* — сільське господарство; *Blockchain* — для ланцюга постачання; *Automated Food Processing* — застосування автоматизованих систем і роботів для виробництва й обробки харчових продуктів; *Digital Supply Chain Management* — використання цифрових технологій та програмного забезпечення для оптимізації управління ланцюгом постачання, від постачальника до споживача; *Mobile Apps for Food Retail* — мобільні додатки для роздрібної торгівлі харчовими продуктами тощо.

Прикладами успішної цифрової трансформації бізнес-процесів у різних видах діяльності і споріднених виробництвах компаній харчової індустрії є: *John Deere* (сільське господарство); *МХП* (сільське господарство); *Nestle* (виробництво та переробка); *IBM Food Trust* (логістика та постачання); *Blue Apron* (обслуговування споживачів); *AeroFarms* (сільське господарство); *Zest Fresh* (логістика та постачання); *McDonald's*, *Chowbotics* і *Starbucks* (роздрібна торгівля); *Ocado* (логістика та постачання); *Varilla* (виробництво та переробка); *FarmLogs* (сільське господарство); Келнер (транспортування продукції), *Coca-Cola* (продукція розроблена ШІ) тощо. Отже, цифрова трансформація бізнесу дає змогу сконцентруватися на процесах виробництва і реалізації харчової продукції, не витрачати час на рутинні операції, стати більш конкурентоспроможним.

Ключові слова: цифрові технології, цифровий бізнес, трансформація, бізнес-процеси, компанія, харчова індустрія.

Постановка проблеми. Цифрова трансформація стрімко увійшла в діяльність і функціонування харчової індустрії, надала можливості для використання технологій для створення нової цінності і бізнес-моделей, удосконалення внутрішніх операційних процесів для підтримання основних операцій компаній з виробництва і реалізації продукції. До компаній харчової індустрії відносяться різні

підприємства, які функціонують згідно з ланцюжком вартості: фермерські господарства (постачання сировини), підприємства харчової промисловості (виробники продукції), роздрібні торговельні мережі (збут продукції), заклади громадського харчування (споживачі продукції) тощо (Reinhardt, 2022).

Традиційні інструменти удосконалення бізнес-процесів компаній харчової індустрії поступаються внесенню змін за допомогою цифрових технологій за критеріями: швидкості, якості, масштабності й отриманні кінцевих економічних результатів і конкурентних переваг. Саме через цю аргументацію пропонуване дослідження є актуальним для компаній харчової індустрії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема впровадження цифрових технологій у діяльність підприємств активно досліджується в працях вітчизняних науковців. Зокрема, О. Бречко акцентує увагу на розробці і запровадженні цифрових стандартів в організації бізнес-процесів з урахуванням світового досвіду та країн ЄС, які забезпечуватимуть уніфіковану систему обробки й передачі інформації (Бречко, 2023).

Більшість публікацій пов'язано з особливостями застосування цифрових технологій у різних сферах підприємств — інноваційної діяльності (Дьяченко, 2017), запровадження віртуального маркетингу та реклами (Losheniuk and others, 2023), удосконалення логістичного ланцюга, наприклад, у роздрібній торгівлі (Іванченко, Процишин, & Никитишин, 2020).

В. Коненко досліджує застосування цифрового інструментарію антикризового управління бізнесом у період воєнного стану. Зокрема, обґрунтовує, що цифрові рішення можуть виявитися згубними для підприємств через вплив нових, неврахованих чинників, які можуть спричинити виникнення кризової ситуації (Коненко, 2023).

Пріоритетними напрямками у розвитку цифрового бізнесу та інноваційного підприємництва є роботизація виробничих процесів, стратегічне планування, мерчандайзинг, впровадження новітніх технологій, уніфікація бізнес-процесів за різними каналами зв'язку (Краус, Краус, & Марченко, 2020).

Ю. Нікітін і О. Кульчицький наголошують, що цифрові перетворення вимагають фундаментальних змін у тому, як підприємство веде бізнес, і передбачають перегляд вимог до інфраструктури, операційних функцій, технологічної стратегії, бізнес-процесів, бізнес-моделі, організаційної структури, навичок персоналу (Нікітін, & Кульчицький, 2019).

М. Хаустов і Д. Бондаренко обґрунтовують вагому роль цифровізації у житті суспільства, її особливості та використання у межах новітніх технологій, а також переваги, існування непередбачених ризиків і загроз (Хаустов, & Бондаренко, 2021).

Зарубіжні вчені переважно розглядають у дослідженнях наслідки і результати цифрової трансформації бізнесу в компаніях. Josko Lozic досліджує історію розвитку цифрової трансформації бізнес-організацій, обґрунтовуючи, що запровадження процесу цифрової трансформації має особливості в різних галузях (Lozic, 2019). Marcin Kotarba аналізує масштаб змін у бізнес-моделях у сучасних організаціях, які відбулися в останні десятиліття внаслідок концепції «цифрової транс-

формації» (Kotarba, 2018). Також вчені досліджують цінність цифрової трансформації для різних суб'єктів господарювання, обґрунтовуючи, що лідери запроваджень мають вищі результати ефективності (Lamarque та ін., 2023).

Крім того, тема досліджується в численних публікаціях порталів, де висвітлюються практичні питання цифрової трансформації бізнесу в умовах сьогодення. Проте в умовах безперервної трансформації діяльності впровадження нетрадиційних заходів для стратегічного розвитку під впливом цифрових технологій у цифровому просторі є актуальним для компаній харчової індустрії та потребує подальшого дослідження.

Метою дослідження є узагальнення теоретичних і прикладних підходів до цифрової трансформації бізнесу компаній харчової індустрії.

Матеріали і методи. В основу дослідження покладено системний підхід до цифрової трансформації бізнесу. Використані загальнонаукові методи: опитування — для виявлення фактичних переваг від використання цифрових технологій вітчизняними підприємствами харчової промисловості, порівняння та узагальнення — для визначення основних напрямків цифрової трансформації бізнесу і прикладів застосування в компаніях харчової індустрії. Дослідження базується на власних авторських розробках, матеріалах фахових і зарубіжних видань, інформаційних порталів.

Викладення основних результатів дослідження. Епоха цифрової економіки вимагає радикальних прогресивних змін у сфері бізнесу. Інтенсивний ринок, завищена конкуренція та зміни у вимогах клієнтів — це лише часткові причини, які обґрунтовують перехід до цифрової трансформації бізнесу. Цифрова трансформація полягає в інтеграції новітніх технологій у бізнес-процеси компанії, які створюють ланцюг вартості. Ці цифрові засоби використовуються для зміни та вдосконалення бізнес-операцій, роблячи їх масштабованими, ефективними та більш прибутковими.

Цифрова трансформація бізнесу спрямована на поліпшення виробництва, реалізацію продукції й обслуговування клієнтів за допомогою новітніх технологій. Якщо нещодавно соціальні мережі переважали у бізнесі, то сьогодні цього вже недостатньо. Підприємствам потрібні передові цифрові технології для оптимізації та подальшого стрімкого розвитку.

Перехід від аналогових стратегій управління до цифрових дає змогу компаніям здобути значні переваги над конкурентами. Водночас деякі зміни можуть запуститися компаніями швидко й ефективно, але інші потребувати довгострокових зусиль зі створенням тимчасових труднощів, коли частина партнерів/клієнтів не приймає нововведень. Проте правильний підхід до цифрової трансформації та використання ефективних інструментів дасть змогу «цифрувати» компанію та розширити її можливості, отримати систематичний набір заходів для розвитку компанії в цифровому просторі. Водночас це вимагає від компаній готовності до експериментів, відмови від застарілих бізнес-методик і використання сучасних технологій для масштабування бізнесу.

Основне завдання цифрової трансформації — зробити управління бізнесом ще простішим та ефективнішим, щоб більшість рутинних завдань виконувались автоматично. Це надасть можливість співробітникам зосередитися на важливіших стратегічних завданнях компанії.

Найбільший ефект компаніям приносить комплексний підхід, коли трансформуються всі бізнес-процеси, з усіх боків, усіма відповідними цифровими засобами (Як цифрова, 2021). За прогнозами експертів (Цифрова трансформація, 2020) уже в найближчі п'ять років обов'язковими атрибутами чи не кожної успішної компанії стануть проєктний підхід до бізнесу і використання data-driven рішень, машинного навчання та штучного інтелекту, а також сучасних способів комунікації та безперервного трекінгу ефективності персоналу.

Уміння швидко змінюватися в умовах постійної цифровізації — це головна конкурентна перевага, тому більшості компаній харчової індустрії проходять через цифрову трансформацію бізнесу, що зумовлено зростанням популярності нових технологій і розумінням їхніх переваг.

Багато хто вважає, що цифрова трансформація — це просто впровадження нових технологій у традиційний алгоритм діяльності компанії. Водночас використання блокчейну, штучного інтелекту, big data або роботів чи дронів не робить компанію цифровою. Цифрові технології — це тільки частина, а її основний, сполучний елемент — працівники-професіонали. Digital і big data — лише інструменти перетворення, а не самоціль. Мета ж будь-яких трансформаційних змін — підвищити ефективність роботи компанії: витратити менше, заробляти більше, обходити конкурентів і перевершувати результати діяльності попередніх років (Як цифрова, 2021). Щоб досягти цього, потрібно робити ставку на розвиток інтелектуального потенціалу співробітників та впровадження технологій управління талантами. Саме таланти-професіонали взаємодіють з новим обладнанням, навчають персонал новому програмному забезпеченню і технологіям, обслуговують клієнтів, пропонуючи нові продукти та послуги.

З метою визначення існуючих переваг для діяльності і функціонування компаній харчової індустрії при використанні сучасних цифрових технологій автором було здійснено опитування топ-менеджменту вітчизняних підприємств. Важливість можливих переваг пропонувалося оцінити за 100-бальною шкалою. За результатами опитування пріоритетним напрямком отримання переваг для більшості компаній є розвиток онлайн-торгівлі, який забезпечив тісний зв'язок зі споживачами харчової продукції (рис.).

Кожна компанія по-різному накопичує дані, використовує у своїй роботі різні технології і робить ставку на певні практичні навички і досвід працівників. Але є загальні етапи, які підходять для трансформації будь-якого бізнесу (табл.).

Цифрові технології в компаніях харчової індустрії передбачають використання різноманітних інноваційних інструментів і систем для оптимізації виробництва, постачання, обробки та реалізації продуктів. Основні ключові напрямки впровадження цифрових технологій у компаніях харчової індустрії включають (Agri-Food, 2023; 10 найкращих, 2022; Як штучний інтелект, 2023):

1. Precision Farming (процеси точного землеробства): Використання сучасних технологій, таких як GPS, датчики тощо, для оптимізації управління фермерським господарством, забезпечення ефективного використання ресурсів і покращення врожайності.



Рисунок. Переваги використання цифрових технологій для функціонування вітчизняних компаній харчової індустрії, побудовано автором за власними дослідженнями

Таблиця. Етапи цифрової трансформації бізнесу

Етап	Характеристика
Робота з клієнтами	Розуміння, аналітика, відстеження клієнтського досвіду
Формування команди трансформації	У команду трансформації обов'язково повинні входити керівник компанії, HR-директор і керівник ІТ-департаменту або технічний директор, а також інші представники топ-менеджменту. Команда з топ-менеджменту повинна провести серйозну підготовчу роботу, без якої будь-які ініціативи в change-менеджменті не запрацюють
Визначення стратегії розвитку	Основна мета будь-якої трансформації — підвищити ефективність роботи компанії, тому команді з топ-менеджменту потрібно прийняти єдине управлінське рішення щодо подальшого розвитку бізнесу. Інколи доводиться формулювати з нуля або корегувати місію, бачення, стратегію і цінності компанії, а також вибудовувати нову організаційну культуру взаємодії працівників один з одним і з клієнтами з урахуванням як ринкового, так і внутрішнього контексту
Оновлення компетенцій і корпоративних цінностей компанії	Коли є усвідомлення того, якою в ідеалі повинна бути компанія, наступним кроком має бути опис, якою має бути команда. Які практичні знання і діджитал-навички знадобляться співробітникам, щоб ефективно працювати з новими технологіями й вчасно реагувати на нові виклики. Чи поділяють працівники цінності відкритості новому, прозорості бізнесу і крос-функціонального співробітництва? Чи готові працівники до змін? Для цього необхідно визначити, які професійні компетенції знадобляться працівникам, щоб у компанії з'явилися критично важливі для її розвитку можливості й корпоративні цінності, що відповідають новим принципам роботи

<i>Упровадження програмних рішень</i>	Сучасні технології змінюють діяльність і вносять істотні корективи в механізми функціонування компаній. Компаніям, що прагнуть виробляти якісну продукцію і надавати якісні послуги, критично важливо сьогодні використовувати можливості високотехнологічних рішень, упроваджуючи їх у свою щоденну практику
<i>Економічне обґрунтування прийнятих програмних рішень</i>	Будь-яке прийняте рішення повинно бути економічно обґрунтованим. Якщо рішення прийняте топ-менеджментом компанії на перспективу, має бути побудований прогноз або запропонований сценарій розвитку подій, що призведе з часом до зростання показників ефективності

Примітка. Узагальнено за (Самойлик, 2014; Хаустов, & Бондаренко, 2021) і доповнено автором.

2. Internet of Things (IoT) у процесах ведення сільського господарства передбачає застосування підключених пристроїв і сенсорів у сільському господарстві для збору даних та автоматизації процесів, що сприяє розумному виробництву.

3. Blockchain для ланцюга постачання передбачає використання технології блокчейн для створення безпечного та надійного запису подій у ланцюзі постачання харчових продуктів, що поліпшує прозорість і відстеження.

4. Automated Food Processing (автоматизовані процеси обробки харчових продуктів) передбачає застосування автоматизованих систем і роботів для виробництва й обробки харчових продуктів, що підвищує ефективність і контроль якості.

5. Digital Supply Chain Management (процеси управління цифровим ланцюгом постачання) передбачає використання цифрових технологій і програмного забезпечення для оптимізації управління ланцюгом постачання від постачальника до споживача.

6. Mobile Apps for Food Retail (мобільні додатки для процесів роздрібної торгівлі харчовими продуктами) передбачає розробку мобільних додатків для зручного замовлення харчових продуктів, спрощення процесу покупки та надання персоналізованих послуг споживачам.

7. Artificial Intelligence — застосування роботів і «розумних» систем, які базуються на методах штучного інтелекту в сільському господарстві і харчовій галузі, що дає змогу значно підвищити їхню ефективність, зекономити багато часу та ресурсів, підвищити врожайність, створити нові види продукції, бренди.

Зважаючи на широкий спектр цифрових технологій, що використовуються в компаніях харчової індустрії, наведемо декілька прикладів успішних цифрових трансформацій (Доброгорський, & Мельник, 2023; Синявіна, & Бутенко, 2021; Перегуда, 2020; Vega, 2023):

1. John Deere є виробником сільськогосподарської техніки, також розробляє системи Precision Farming, які включають в себе GPS, датчики і програмне забезпечення для оптимізації вирощування культур.

2. Nestle використовує автоматизовані лінії з виробництва продукції, системи моніторингу якості, роботизовані системи пакування для підвищення ефективності та контролю якості і безпеки харчових продуктів.

3. *IBM Food Trust* є користувачем технології блокчейн для створення надійної системи відстеження й трасування харчових продуктів у ланцюгу постачання, забезпечуючи прозорість і безпеку.

4. *Агропромисловий холдинг МХП* застосовує технологію «прецизійного» землеробства (precision agriculture), що полягає у збереженні ресурсів, отриманні максимальної продуктивності завдяки оптимізації сільськогосподарського виробництва та економії ресурсів. Крім того, технологія — «точне землеробство» передбачає використання технологій глобального позиціонування (GPS), оцінки врожайності (Yield Monitor Technologies), змінного нормування (Variable Rate Technology), технології дистанційного зондування землі (ДЗЗ) і рішень технології ІТ, тобто тотальної діджиталізації й автоматизації процесів. У ряді рослинницьких підприємств компанії повністю впроваджено весь ланцюжок елементів точного землеробства.

5. *Blue Apron* є користувачем технології для забезпечення доставки інгредієнтів і рецептів для готування вдома, забезпечуючи персоналізований підхід до споживачів.

6. *AeroFarms* використовує вертикальні ферми та спеціальні системи LED-освітлення, контроль за кліматом і датчики для вирощування продуктів в умовах, що забезпечує стабільне виробництво навіть на урбанізованих територіях.

7. *Zest Fresh* використовує інтелектуальні системи моніторингу для визначення оптимальних умов транспортування й зберігання харчових продуктів, що допомагає збільшити тривалість зберігання та знизити втрати продуктів.

8. *McDonald's* впроваджує цифрові технології для покращення обслуговування клієнтів, такі як самозамовлення через кіоски та мобільні додатки, що робить процес замовлення й отримання їжі більш зручним.

9. *Ocado Group* використовує автоматизовані системи для управління складами та постачанням харчових продуктів. Роботизовані системи допомагають ефективно виконувати замовлення та швидко, вчасно доставляти їх споживачам. Компанія є піонером на ринку продуктових онлайн-магазинів.

10. *Barilla* впроваджує цифрові технології в процес виробництва макаронних виробів, використовуючи ІоТ для моніторингу й оптимізації етапів і процесів.

11. *Chowbotics* виробляє роботів, які готують свіжі салати та інші страви на замовлення. Це автоматизує процес готування та надає споживачам можливість онлайн обирати інгредієнти для своїх страв.

12. *FarmLogs* використовує мобільні додатки та платформи для сільськогосподарського моніторингу, які допомагають фермерам в управлінні полями, врожайністю та витратами.

13. *Starbucks* використовує мобільні додатки для замовлення напоїв та їжі, забезпечення програми лояльності й технології штучного інтелекту для персоналізованих рекомендацій і зручного обслуговування клієнтів.

14. *Келнер* автоматизує процес розпізнавання транспортних засобів, встановлює цифрову систему зважування і контролю за завантаженням чи відвантаженням продукції, що дає змогу сконцентруватися на процесах виробництва, не витрачати час на рутинні операції та ведення паперової документації.

15. *Coca-Cola* використовує технологію штучного інтелекту для розроблення смакових профілів з уявленням про опитуванні споживачів про смак майбутнього у газованій воді лімітованої партії.

Ці приклади ілюструють, як використання цифрових технологій може призвести до покращення різних аспектів діяльності компаній харчової індустрії — виробничої, інноваційної, маркетингової, збутової, логістичної для підвищення конкурентоспроможності на ринку.

Висновки

Підсумовуюче вищевикладене, слід зазначити, що цифрова трансформація бізнесу в компаніях харчової індустрії відіграє вагомий роль у всьому ланцюгу постачання, починаючи від сільського (фермерського) господарства та закінчуючи обслуговуванням споживачів (роздрібна торгівля). Підприємства використовують сучасні прогресивні технології, такі як IoT, блокчейн, машинне навчання та автоматизацію, методи штучного інтелекту для оптимізації виробництва і створення нової продукції, покращення її якості, забезпечення безпеки й ефективного управління логістичним ланцюгом постачання та продажу. Це сприяє зростанню продуктивності, ефективності та прозорості в компаніях харчової індустрії, а також покращенню взаємодії зі споживачами через персоналізовані послуги та нові способи роздрібно торгівлі. Загалом, цифрові трансформації бізнесу сприяють створенню більш стійкої та конкурентоспроможної харчової індустрії.

Подальші дослідження потребують розгляду таких важливих питань для вітчизняних компаній харчової індустрії: визначення ефективності впровадження цифрової трансформації у бізнес-процеси, захист у законодавчо-правовому полі інтелектуальної власності, особливо інноваційних розробок, які створені за допомогою методів штучного інтелекту.

Література

Бречко, О. (2023). Цифровий стандарт: нові можливості для трансформації бізнес-процесів в умовах цифровізації. *Вісник економіки*. Вип. 2. С. 58—73. URL: DOI: <https://doi.org/10.35774/visnyk2023.02.058>.

Доброгорський, С., Мельник, Ю. Сталі агроінновації як відповідь на виклики війни. (2023). Взято з: <https://mind.ua/openmind/20259848-stali-agroinnovacii-yak-vidpovid-na-vikliki-vijni>.

Дьяченко, Ю. В. (2017). Інноваційна діяльність м'ясопереробних підприємств України. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*, 16(1), 94—97. Взято з: https://visnyk-ecopom.uzhnu.ua/archive/16_1_2017ua/23.pdf.

Іванечко, Н. Р., Процишин, Ю. Т., Никитишин, Т. В. (2020). Цифрові технології в роздрібній торгівлі: зарубіжний та український досвід. *Економіка харчової промисловості*, 12(1), 77-82. DOI:10.15673/fie.v12i1.1671.

Коненко, В. В. (2023). Цифровий інструментарій антикризового управління бізнесом в період воєнного стану. *Ефективна економіка*, 1. DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2023.1.16>.

Краус, Н. М., Краус, К. М., Марченко, О. В. (2020) Інноваційне підприємництво і цифровий бізнес: науково-економічна фіча розвитку та зміни в управлінні. *Ефективна економіка*, 4. DOI: 10.32702/2307-2105-2020.4.8.

Нікітін, Ю. О., Кульчицький, О. І. (2019). Цифрова парадигма як основа визначень: цифровий бізнес, цифрове підприємство, цифрова трансформація. *Маркетинг і цифрові технології*, 3(4), 77—87. DOI:10.15276/mdt.3.4.2019.7.

Перегуда, Ю. (2020) Цифрові інструменти підвищення конкурентоспроможності продукції тваринництва. *Bulletin of Sumy National Agrarian University*, 2 (92), 38—46. <https://doi.org/10.32782/bsnau.2022.2.5>.

Самойлик, Ю. В. *Цифровий маркетинг у м'ясній галузі*. І Міжнародна науково-практична конференція «Маркетинг і цифрові технології», 51—153. Взято з: <https://economics.net.ua/files/science/market/2014/151.pdf>.

10 найкращих тенденцій, технологій та інновацій у сільському господарстві за 2022 рік. Взято з: <https://mind.ua/publications/20250592-10-najkrashchih-tendencij-tehnologij-ta-innovacij-u-silському-gospodarstvi-za-2022-rik>.

Синявіна, Ю., Бутенко, Т. (2021) Перспективи розвитку галузі тваринництва в умовах цифровізації. *Economic Analysis*, 31(1), 78—185. DOI: <https://doi.org/10.35774/econa2021.01.178>.

Хаустов, М. М., Бондаренко, Д. В. (2021) Цифрові технології майбутнього в розвитку суспільства. *Конкурентоспроможність та інновації: проблеми науки та практики*, 338—347. Взято з: <https://www.researchgate.net/publication/358525663>.

Цифрова трансформація бізнесу: навіщо вона потрібна і ще 14 запитань. 2020. Взято з: <https://businessviews.com.ua/ua/digital-transformation/id/cifrova-transformacija-biznesu-navischo-vona-potribna-i-she-14-pitan-2046/>.

Як цифрова трансформація допомагає зростати бізнесу. 23.10.2021. Взято з: <https://wezom.com.ua/ua/blog/cifrovaya-transformacija-pomogaet-rasti-biznesu>.

Як цифрова трансформація змінює бізнес. 21.10.2021. Взято з: <https://devisu.ua/uk/stattia/yak-cifrova-transformacija-zminyu-biznes>.

Як штучний інтелект та роботи підвищують врожайність полів та ефективність сільського господарства (2023). Взято з: <https://agrarii-razom.com.ua/article/roboti-i-polunichka-yak-ai-pidvishue-vroжайnist-poliv>.

Agri-Food — Building digital transformation in agri-food (2023). Взято з: <https://agri-food.appau.org.ua>.

Lamarre, Eric, Chheda, Shital, Riba Marti, Genest, Vincent & Nizam, Ahmed (2023) The Value of Digital Transformation. *Harvard Business Review*. 21.09.2023. Взято з: <https://hbr.org/2023/07/the-value-of-digital-transformation>.

Luz Reinhardt Maximilian, Schyroche, Tetiana Ukrainian food industry: the way to survive under pressure. 21.09.2022. Взято з: <https://eba.com.ua/ukrayinska-harchova-industriya-shlyah-vyzhyvannya-pid-natyskom/>.

Losheniuk, I., Kabanova, O., Berher, A., Karpenko, V., & Didyk, D. (2023). The future of virtual reality in marketing and advertising: benefits and challenges for business.

Futurity Economics & Law. 3(3), 173—186. <https://doi.org/10.57125/FEL.2023.09.25.10>.

Lozic Josko Core concept of business transformation: from business digitization to business digital transformation. Conference: 48th International Scientific Conference on Economic and Social Development — "Managerial Issues in Modern Business". Warsaw, 25—26 November 2019. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/342004630_Core_concept_of_business_transformation_From_business_digitization_to_business_digital_transformation.

Kotarba, Marcin (2018). Digital transformation of business models. *Foundations of Management*, Vol. 10, ISSN 2080-7279 DOI: 10.2478/fman-2018-0011.

Vega, Nicolos Coca-Cola used AI to create its newest flavor: The Y3000 soda 'from the future'. 12.09.2023. Взято з: <https://www.cnn.com/2023/09/12/ai-created-coca-colas-newest-flavor-the-y300-soda-from-the-future.html>.

УДК 621.3.08:543.257.1.08

HEAT THERMOELECTRIC DEVICES FOR MEASURING HUMIDITY AND TEMPERATURE OF GASEOUS MEDIA

O. Mazurenko

National University of Food Technologies

L. Dekusha, S. Ivanov

Institute of Engineering Thermophysics of Ukraine National Academy of Sciences

Key words:

*Humidity
Temperature
Gaseous medium
Sensor
Parametric
Generator*

Article history:

Received 10.01.2024
Received in revised form
26.01.2024
Accepted 13.02.2024

Corresponding author:

O. Mazurenko
E-mail:
rovgi18-1@ukr.net

Citation: О. Г. Мазуренко
Л. В. Декуша, С. О. Іва-
нов (2024). Теплоермо-
електричні пристрої вимі-
рювання вологості і темпе-
ратури газових середовищ.
Наукові праці НУХТ,
30(1), 91—104.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2024-30-1-10

ABSTRACT

A major share of humidity measurements in industry and everyday life is the measurement of air humidity. Thus, in the food industry, a significant number of technological processes of products are carried out using gaseous media, the values of the parameters of which, such as temperature, rate of motion, humidity and others, must be controlled, since the optimal conditions for their processing are different for various products. For example, in food storage rooms it is usually desirable to maintain a stable temperature (about 0 °C) and a very high relative humidity (85÷90)%, and in some cases even higher. At the same time, a change in storage conditions towards higher humidity can lead to the appearance of mold, and a decrease in humidity will lead to a loss of product mass due to evaporation.

Modern methods for measuring the humidity of gases are varied, the most widely used methods are characterized by the use of the condensed phase, in particular the effect (reaction) of water vapor in the gas phase on condensed systems.

The classification of these methods is given in the paper. It is noted that methods based on changes in electrical conductivity or the amount of electricity required for quantitative electrolysis of condensed moisture became widely used.

The results of the development of a method and thermal and thermoelectric devices for measuring the humidity and temperature of the gaseous medium of thermal processing of food products are presented.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-1-10

ТЕПЛОТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ПРИСТРОЇ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ І ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩ

О. Г. Мазуренко

Національний університет харчових технологій

Л. В. Декуша, С. О. Іванов

Інститут технічної теплофізики НАН України

Основна частина вимірювань вологості у промисловості та в побуті припадає на вимірювання вологості повітря. Так, у харчовій промисловості значна кількість процесів технологічної обробки продуктів здійснюється з використанням газових середовищ, значення параметрів яких (температуру, швидкість руху, вологість тощо) необхідно контролювати, оскільки для різних продуктів оптимальні умови їх обробки є різними. Наприклад, у камерах зберігання харчових продуктів рекомендовано підтримувати стабільні температури (близько 0 °C) і високу відносну вологість (85% і вище залежно від типу продукту). При цьому перевищення рекомендованих значень вологості газу може призвести до появи цвілі, а зниження вологості призведе до втрати маси продукту внаслідок випаровування.

Сучасні методи вимірювання вологості газів численні й різноманітні, однак найбільш широко використовуються методи, для яких характерне використання конденсованої фази, зокрема впливу (реакції) водяної пари газової фази на конденсовані системи.

У статті розглянуто класифікацію цих методів. Зазначено, що широкого застосування набули методи, засновані на зміні електропровідності або кількості електрики, потрібної для кількісного електролізу сконденсованої вологи. Наведено результати розробок методу й теплотермоелектричних приладів вимірювання вологості й температури газового середовища термічної обробки харчових продуктів.

Ключові слова: вологість, температура, газове середовище, перетворювач, параметричний, генераторний.

Постановка проблеми. Інформацію про вологість різноманітних газових середовищ, передусім повітря, потребують практично всі напрямки життєдіяльності людини: від сільського господарства і харчової промисловості до медицини. Необхідність моніторингу параметрів газового середовища спонукала до появи різних методів і засобів вимірювання вологості й температури газів. Проте невпинний розвиток промисловості, а також поява нових завдань та умов для моніторингу параметрів газу потребує розвитку нових методів і засобів контролю цільових величин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Так, прогнозоване зростання популяції людства, яке випереджає швидкість збільшення площ орних земель, необхідних для задоволення майбутніх потреб у продовольстві, підвищує вимоги до ефективності наявних сільськогосподарських ресурсів. Альтернативою традицій-

ним методам ведення сільського господарства є вирощування сільськогосподарських культур у контрольованому середовищі, наприклад, у теплицях (Думанський, & Корольков, 2023) або системах з використанням елементів гідро- та аеропоніки (Imran Ali Lakhari, Jianmin Gao, Tabinda Naz Syed, Farman Ali Chandio, & Noman Ali Buttar, 2018), які, зазвичай, є більш продуктивними та використовують ресурси ефективніше, ніж традиційне сільське господарство (Rabbi, Chen, & Sethuvenkatraman, 2019; Sharma, Acharya, Kumar, Singh, & Chaurasia, 2018).

Разом з вирішенням потреб у продовольстві необхідно забезпечити здоров'я населення, тобто розвиток медицини і здоровий побут кожної людини (Осадчук, Савицький, & Жагловська, 2014). Так, наприклад, дослідження дихання людини є перспективним напрямком, що має потенціал для досягнення неінвазивного методу контролю фізичного здоров'я людини. Це забезпечується використанням гнучких датчиків вологості для визначення поведінки дихання, наприклад, безперервності, частоти (Tai, Wang, Duan, & Jiang, 2020). І хоча існує багато методів вимірювання вологості газового середовища (повітря), а також різноманітних засобів вимірювання, реалізованих на їх основі, вимірювання вологості газових середовищ, у тому числі повітря, поки що не є сталим напрямом вимірювальної техніки і пошук нових методів продовжується (Кононов, Кононова, & Олексюк, 2021). Це обумовлено тим, що в одному випадку потрібні прилади для вимірювання невеликої кількості вологи в повітрі, в іншому — потрібно фіксувати невеликий діапазон значень вологості, в третьому — виникає необхідність контролю вологості в широкому температурному діапазоні. Особливість цього параметра повітря полягає в тому, що волога в повітрі може знаходитися у трьох фазах: газоподібній (водяна пара), рідкій (вода) і твердій (лід).

Вищезначені фактори сприяють неперервній розробці нових засобів вимірювання температури й вологості повітря. Наприклад, спроектовано прилад для вимірювання температури та вологості на платформі Arduino ATmega328P (Wibawa, & Putra, 2022). Мікроконтролер ATmega328P опрацьовує дані, що є вихідними даними датчика DHT22, який отримує сигнали у вигляді температури та вологості.

Розвиток промисловості ставить перед науковцями завдання щодо підвищення точності вимірювання й отримання достовірної інформації про контрольований параметр — температуру і вологість газового середовища термічної обробки різноманітних об'єктів. Це завдання особливо актуальне для технологічних процесів харчової промисловості (Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, 2019) та сільського господарства (Komer, & Challa, 2003), адже похибка вимірювання чи недостовірність отриманої інформації (Кузик, Балицька, & Ярицька, 2011) може призвести до збільшення втрат сировини або випуску неякісного продукту.

Методи вимірювання вологості поділяються на прямі й непрямі. У прямих методах проводиться безпосередній поділ вологого матеріалу на суху речовину і вологу. У непрямих методах, більш поширених, вимірюється величина, функціонально пов'язана з вологістю повітря. Для встановлення залежності між вологістю повітря і вимірюваною величиною прилади, які реалізують непрямі методи, вимагають попереднього калібрування, але саме ці прилади широко використовують в АСУ ТП (Nilsson, Lars-Olof (Ed.), 2018).

На практиці вологість повітря характеризують низкою параметрів, більшість з яких пов'язані між собою рівняннями (Яворський, Детлаф, & Лебедев, 2007):

1. *Абсолютна вологість* α — маса водяної пари, що міститься в одиниці об'єму повітря, інакше кажучи, це густина ρ водяної пари в повітрі, (г/м³, кг/м³).

2. *Парціальний тиск вологого повітря (газу)* $p_{\text{вп}}$ за певної температури, вимірюється в гектопаскалях (гПа).

3. *Тиск насичення* $p_{\text{н}}$ — максимально можливий парціальний тиск насиченої водяної пари [гПа] за певної температури. Тиск насичення пов'язаний з температурою повітря (газу) формулою Магнуса:

$$p_{\text{нт}} = p_0 \cdot 10^{[a \cdot t / (b+t)]}, \quad (1)$$

де p_0 — тиск насичення при температурі 0 °С; t — температура за шкалою Цельсія; a і b — константи (для води $a = 7,63$; $b = 241,9$).

4. *Відносна вологість повітря* φ — це відношення абсолютної вологості повітря за певної температури до густини насиченої водяної пари за тієї ж температури, або відношення парціального тиску водяної пари в газовому середовищі за певної температури до тиску насиченої водяної пари за цієї самої температури, а також відношення густини вологого повітря за певної температури до густини насиченої водяної пари, за тієї ж температури:

$$\varphi = p_{\text{вп}} / p_{\text{н.с}} \quad \text{або} \quad \varphi = \rho_{\text{вп}} / \rho_{\text{н}}. \quad (2)$$

5. *Температура точки роси* t_p , К, або T_p , К — температура, за якої водяна пара, що міститься в повітрі, стає насиченою, і φ досягає 100%:

$$\varphi = 1, \quad \text{тобто} \quad p_{\text{вп}} = p_{\text{н}}. \quad (3)$$

В абсолютній більшості промислових і побутових приладів для визначення вологості повітря (газів) використовують параметричні перетворювачі, що ускладнює засоби вимірювання, особливо пов'язані з АСУ ТП (Лукінюк та ін., 2017). Отже, удосконалення існуючих або розробка нових методів і приладів вимірювання вологості повітря (газів) та функціонально пов'язаних з вологістю фізичних величин є актуальним завданням. На нашу думку, у таких приладах доцільніше використовувати генераторні перетворювачі, зокрема термоелектричні перетворювачі густини теплового потоку і температури термоелектричного типу.

Для визначення вологості повітря на практиці переважно застосовують психрометричний метод, гігроскопічний метод і метод точки роси, при чому психрометричний метод є найпоширенішим.

Психрометричний метод — це непряме вимірювання вологості газів, засноване на залежності зниження температури (охолодження) змоченого твердого тіла від вологості навколишнього газового середовища. Пристрої, за допомогою яких реалізується цей метод, — психрометри, отримали найбільше розповсюдження у промисловості та побуті.

Загалом, психрометр (гігрометр психрометричний) складається з двох перетворювачів температури (ПТ). Чутливий елемент (ЧЕ) одного з ПТ пристрою обгорнутий капілярно-пористим матеріалом, що зволожується дистильованою водою. Випаровування води з матеріалу, яке відбувається шляхом поглинання необхідної для цього теплоти з навколишнього повітря, спричиняє охолодження цього чутливого елемента до рівноважного значення температури T_m — так званої

«термодинамічної температури мокрого термометра». Відповідно, під температурою мокрого чутливого елемента перетворювача розуміють температуру, якої набуває вологе повітря в результаті його адіабатичного насичення (зволоження).

Другий ПТ психрометра використовується для вимірювання температури вологого повітря (середовища) $T_{\text{вп}}$, яке досліджується, відповідно так званої, тобто «температури сухого термометра» T_c . Отже, чим нижча відносна вологість повітря, тим інтенсивніше проходить процес випаровування, тим більша різниця в показках сухого та мокрого ПТ пристрою.

За результатами розрахунку ентальпії вологого повітря на «вході» і на «виході» з психрометра, відповідно, при температурах сухого $T_{\text{вп}}=T_c$ та мокрого T_m термометрів пристрою отримано формулу визначення парціального тиску водяної пари $p_{\text{вп}}$ у вологому повітрі, яка описує залежність між значеннями обох термометрів, і тиском пари:

$$p_{\text{н.м}} - p_{\text{ср}} = A \cdot p_6 \cdot (T_c - T_m), \quad (4)$$

де A — стала психрометра, приймається рівною 0,0007947 при $p_A=1000$ гПа.

У результаті ділення обох частин рівняння (4) на величину парціального тиску насиченої пари $p_{\text{н.с}}$ при T_c температурі сухого термометра отримуємо рівняння розрахунку відносної вологості дослідного повітря:

$$\varphi = [p_{\text{н.м}} - A \cdot p_A \cdot (T_c - T_m)] / p_{\text{н.с}}. \quad (5)$$

Оскільки значення порційного тиску насиченого пару p_c та p_m однозначно визначаються температурами, відповідно, сухого і мокрого термометрів психрометра, то при $A = \text{const}$, можна отримати залежність:

$$\varphi = f(t_c - t_m, t_c). \quad (6)$$

З використанням цієї залежності, розраховуються психометричні таблиці. Оскільки константа A залежить від умов відведення теплоти від термометрів у зовнішнє середовище, її величина, а отже, і психометричні таблиці, можуть відрізнятися між собою. Але принцип дії всіх психометрів однаковий.

Як ПТ у психрометрах використовують ртутні та спиртові термометри розширення, манометричні термометри та різні види електричних термометрів (опору, термістори, термопарі).

Термометри розширення використовують у так званих стаціонарних (типу Августа) та аспіраційних (типу Асмана) психрометрах (рис. 1). Конструктивно між собою ці види психометрів відрізняються лише наявністю вентилятора в аспіраційних психометрів, який продукує потік повітря зі швидкістю близько 2 м/с, що інтенсифікує процес випаровування вологи з чутливого елемента мокрого термометра пристрою.

Психометри з манометричними й електричними перетворювачами температури можна використовувати для дистанційного вимірювання відносної вологості газових середовищ і вимірювальними каналами передавати результат в АСУ ТП.

На рис. 2 приведений електричний психрометр фірми Ultrakust з електростимульованим обдуванням сухого і мокрого електричних термометрів. Циркуляція повітря в такому пристрої здійснюється за допомогою вентилятора, що приводиться в дію пружинною механічною системою (у найпростіших моделях) або електродвигуном (у моделях з безперервним надходженням води).

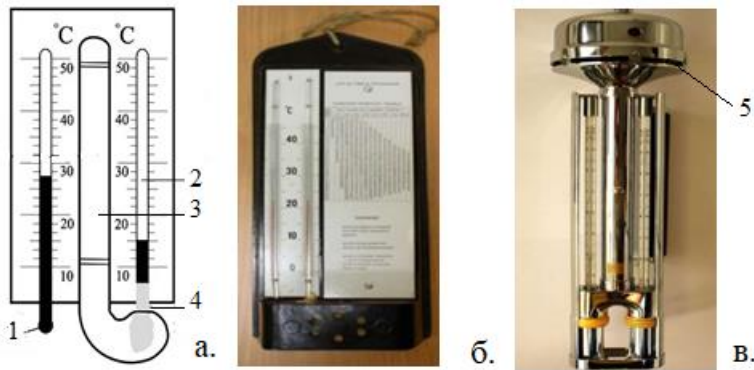


Рис. 1. Будова психрометра (а), зовнішній вигляд стаціонарного (б) і аспіраційного (в) психрометрів: 1 та 2 — сухий і мокрий термометри; 3 — балон з водою; 4 — тканина з водою; 5 — вентилятор

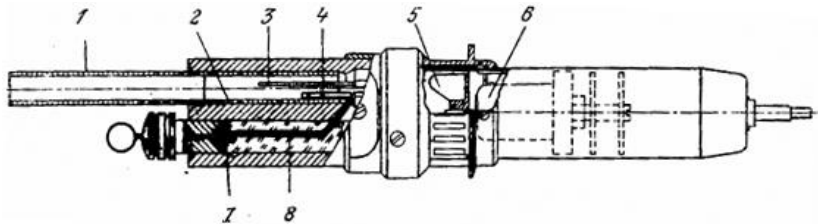


Рис. 2. Електричний психрометр конструкції фірми Ultrakust:
1 — трубка обдування; 2 — металева гільза; 3 та 4 — сухий і мокрий електричні термометри; 5 — двигун вентилятора; 6 — вентилятор; 7 — резервуар із дистильованою водою; 8 — вологий матеріал

Важливою перевагою психрометрів — висока відтворюваність результатів вимірювань і незначна інерційність при простоті будови цих приладів. Чутливість психрометра залежить тільки від чутливості ПТ.

За температури повітря вище 0°C психрометри працюють із похибкою $\pm(1\div 2)\%$. Верхня межа вимірювання обмежена тим, що температура мокрого термометра повинна бути менша за температуру кипіння води.

За температури повітря нижче 0°C точність показів психрометрів різко знижується через кристалізацію води для мокрого термометра. При цьому виникають труднощі із забезпеченням безперервного підведення досліджуваного вологого повітря до поверхні чутливого елемента мокрого термометра і у визначенні фазового стану води на цій поверхні. Це є джерелом невизначеності результату вимірювання, оскільки парціальні тиски над поверхнею перехолодженої рідини та льоду відрізняються.

Недоліками психрометрів також є залежність їхніх показів від зміни швидкості руху середовища, атмосферного тиску, додаткового підведення теплоти до поверхні випаровування випромінюванням і відведення теплоти по висоті термометра теплопровідністю.

Гігроскопічний метод ґрунтується на здатності деяких матеріалів змінювати свої властивості (форму, розміри, електропровідність тощо) внаслідок поглинання вологи з повітря в кількості, пропорційній його відносній вологості.

В електролітичних гігрометрах складовою чутливого елемента (ЧЕ) вимірювального перетворювача є електроліт — найчастіше хлористий літій, $LiCl$. При вимірюваннях зміна вологості повітря (газу) викликає зміну кількості вологи, що міститься в чутливому до вологи елементі перетворювача, тобто зміну концентрації електроліту у ЧЕ та відповідну зміну його електричних властивостей — опору або ємності.

Вимірювальні схеми електролітичних гігрометрів — це варіанти мостових вимірювальних схем. До недоліків електролітичних гігрометрів слід віднести нестабільність їх калібрувальних характеристик, а також вплив температури і концентрації розчиненої речовини на їхні показання.

Конструктивно, електролітичні перетворювачі можуть бути без підігріву електроліту (рис. 3, а) або з підігрівом (рис. 3, б). І якщо за будовою вони принципово не відрізняються, то відмінність за принципом дії у них суттєва.

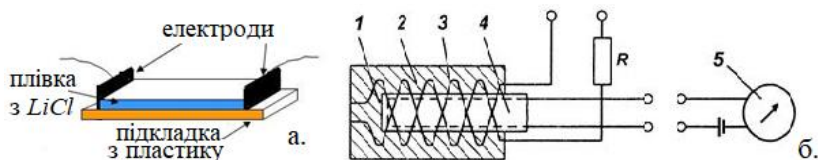


Рис. 3. Гідролітичний гігрометр без підігріву (а) та з підігрівом (б)

Так, у разі підключення електродів гігрометра до джерела змінної напруги в розчині електроліту діятиме електричний струм, який нагріває його і викликає випаровування води. Після випаровування води струм, що проходить між електродами, різко зменшується, оскільки провідність кристалічного $LiCl$ значно нижча за провідність розчину, і, відповідно, знижується температура перетворювача. Одночасно хлорид літію, який має високу гідрофільність, знову адсорбує водяну пару з повітря, що призводить до збільшення сили струму і температури перетворювача. Так автоматично підтримується режим, що відповідає рівноважному стану між парціальним тиском парів води в аналізованому газі та парціальним тиском пари над насиченим розчином електроліту. Ця рівновага настає за температури, безпосередньо пов'язаної з тиском пари і також із температурою точки роси. Отже, у цій системі регулювання здійснюється за допомогою самого хлориду літію. Приклад конструкції перетворювача цього типу наведено на рис. 3, б.

Чутливий елемент приладу являє собою тонкостінну трубку з нержавіючої сталі, покриту скловатою 2, що просочена розчином хлористого літію. На зовнішню поверхню скловати намотані ізольовані одна від одної спіралі 3 (електроди) зі срібного дроту. Щоб уникнути поляризації, спіралі живляться змінним струмом. Зверху на елемент надягають металеву трубку із сітчастою вставкою, яка затримує сильні газові струмені. Всередині трубки 1 поміщається малоінерційний термометр опору 4, до якого підключений вимірювальний прилад 5.

Мета дослідження: розвиток методу вимірювання температури і вологості газових середовищ з використанням термоелектричних перетворювачів температури і густини теплового потоку, а також розробка засобів вимірювання як елементів системи централізованого контролю параметрів газових середовищ для реалізації запропонованого методу на практиці.

Матеріали і методи. Непрямі методи вимірювання температури потоку повітря передбачають застосування методів термометрії з використанням термоелектричних перетворювачів температури (Луцик, Буняк, Рудавський, & Стадник, 2003).

Непрямі вимірювання густини теплового потоку і потоку маси вологи, що випаровується, здійснюються з використанням методів і приладів тепломасометрії (Федоров, 1987).

Вимірювання комплексів фізичних величин здійснюються методом двох вимірювань, або методом надлишкових вимірювань.

Викладення основних результатів дослідження. Для усунення недоліків вимірювання параметрів вологого повітря, що властиві параметричним перетворювачам, які використовуються в психрометричних і сорбційних гігрометрах, а також у конденсаційних приладах, у розроблених пристроях вимірювання здійснюється з використанням термоелектричних перетворювачів температури, густини теплового потоку (ПТП), а також тепломасомірів (Грищенко 2017), що суттєво спрощує схеми передачі їх сигналів до АСУ ТП (Бабак, 2017).

З метою підвищення точності результатів вимірювання параметрів вологого повітря при розробці теплометричних гігрометрів враховували можливість здійснення надлишкових вимірювань (Щербань, & Корогод, 2021) та одержання додаткової інформації про параметри вологого повітря (Shcherban та ін., 2019).

Оскільки в розроблених приладах вологість газового середовища визначається з використанням термоелектричних перетворювачів теплового потоку (ПТП), наведемо рівняння теплового балансу поверхні ПТП приладу, на яку в результаті теплообміну з вологим середовищем діє тепловий потік сумарною густиною q_{Σ} :

$$q_{\Sigma} = \alpha_k \cdot (T_{\text{п}} - T_{\text{ср}}) + r \cdot \beta_p \cdot (P_{f(T_{\text{п}})} - P_{\text{ср}}) + a \cdot q_{\text{дж}} + a_{\text{ф}} \cdot q_{\text{ф}} + \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{\text{п}}^4 \quad (7)$$

Рівняння (7) є сумою складових густини теплових потоків:

- конвективного теплообміну $q_k = \alpha_k \cdot (T_{\text{п}} - T_{\text{вп}})$, де α_k — коефіцієнт конвективного теплообміну, $T_{\text{п}}$ та $T_{\text{вп}}$ — температура, відповідно, поверхні теплообміну (ПТП) та вологого повітря;

- масообміну $q_j = r \cdot \beta_p \cdot (p_{T_{\text{п}}} - p_{\text{вп}})$, де r — прихована теплота випаровування, β_p — коефіцієнт масообміну, $p_{T_{\text{п}}}$ та $p_{\text{вп}}$ — парціальний тиск як функція температури теплообміну та парціальний тиск вологого повітря;

- фонового випромінювання $q_{\text{ф}} = a_{\text{ф}} \cdot q_{\text{дж}}$, де $a_{\text{ф}}$ та $q_{\text{ф}}$ — коефіцієнт поглинання поверхнею теплообміну (ПТП) фонового випромінювання та густина фонового випромінювання джерела теплової енергії;

- радіаційного теплообміну з джерелом теплового випромінювання $q_p = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{\text{п}}^4$, де ε — випромінювальна здатність поверхні чутливого елемента приладу; σ — стала Стефана-Больцмана.

Теплотермоелектричний гігрометр (ТТЕГ). Вологість повітря з використанням розробленого пристрою ТТЕГ визначається за результатами вимірювання теплоти випаровування з поверхні «зволожених» ПТП і показів «сухих» ПТП з розташованими на їх поверхні, відповідно, «зволоженими» і «сухими» ЧЕ ПТ, тому розроблений прилад назвали теплотермоелектричний гігрометр (ТТЕГ).

Для контролю параметрів вологого повітря (рис. 4, а) пристрій ТТЕГ (І) розміщують на ділянці повітропроводу (ІІ) таким чином, щоб усі його вимірювальні перетворювачі знаходилися в однакових гідродинамічних умовах. З метою вирівнювання потоку повітря й усунення збурень від роботи витяжного вентилятора ділянка повітропроводу зі змонтованим ТТЕГ з обох боків обмежена решітками (ІІІ). Для забезпечення процесу вимірювання параметрів вологого повітря первинні перетворювачі ТТЕГ об'єднані у дві однакові групи (рис. 4, б).

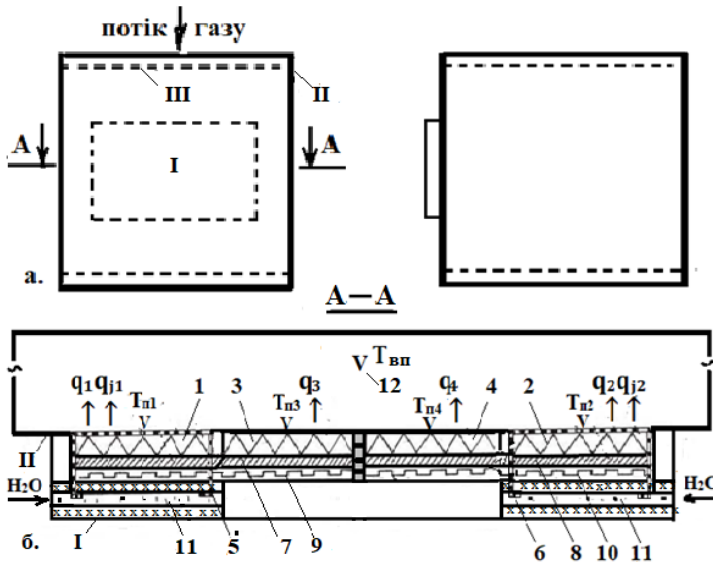


Рис. 4. Теплотермоелектричний гігрометр

Першу групу утворюють ПТП (1 і 3), з розміщеними на їх поверхні ЧЕ (T_{n1} і T_{n3}) ПТ. До другої групи відносяться ПТП 2 та 4, з розміщеними на їх поверхні ЧЕ (T_{n2} і T_{n4}) ПТ. З метою вирівнювання температури перетворювачі першої групи розташовані на високотеплопровідній пластині 7, а другої групи — на пластині 8.

Один з ПТП кожної з цих груп, зокрема ПТП 1 та ПТП 2, вкрито шаром капілярно-пористого матеріалу 5 та 6, у який вмонтовано ЧЕ ПТ, відповідно, T_{n1} та T_{n2} . Ці матеріали, а отже, вкриті ним ПТП і ЧЕ ПТ постійно зволожуються через дренажні канали 11. Це так звані «мокрі» перетворювачі ТТМП. Відповідно, ПТП 3 і 4 зі змонтованими на їх поверхні ЧЕ T_{n3} і T_{n4} ПТ — це «сухі» перетворювачі пристрою.

Для утворення потрібної температури випаровування води з поверхонь зволожених ПТП встановлено електричні нагрівники (Анатичук, & Михайловський, 2008), або термоелектричні теплообмінники, що працюють на основі ефекту

Пельтье (Анатичук, 1979). Кожен з цих теплообмінних пристроїв, 9 та 10, під'єднано до двох індивідуальних регуляторів напруги. Один з регуляторів забезпечує стабільність температури випаровування води з поверхонь «мокрих» ПТП, а другий — підтримує задану різницю температур між групами перетворювачів ТТП. При цьому різницю між температурами поверхонь випаровування води обирають з міркувань забезпечення рівності коефіцієнтів масовіддачі для обох груп термоелектричних перетворювачів пристрою. Зазвичай, вона становить $(2 \div 15)$ К. Для вимірювання температури $T_{\text{вп}}$ вологого повітря, що досліджується, використовується термopар 12.

Густини теплового потоку q_1 і q_2 , які вимірюються за допомогою «мокрих» ПТП пристрою, можуть бути описані рівняннями:

$$q_1 = \alpha_{\Sigma} \cdot (T_{\text{п1}} - T_{\text{вп}}) + q_{j1} \quad \text{та} \quad q_2 = \alpha_{\Sigma} \cdot (T_{\text{п2}} - T_{\text{вп}}) + q_{j2}, \quad (8)$$

де α_{Σ} — сумарний ефективний коефіцієнт теплообміну при конвективному і радіаційному теплообміні.

З використанням «сухих» ПТП, 3 та 4, пристрою, вимірюються густини теплового потоку:

$$q_3 = \alpha_{\Sigma} \cdot (T_{\text{п3}} - T_{\text{вп}}) \quad \text{та} \quad q_4 = \alpha_{\Sigma} \cdot (T_{\text{п4}} - T_{\text{вп}}). \quad (9)$$

Оскільки електричні нагрівники пристрою підтримують температуру першої групи вимірювальних перетворювачів більшою за температуру другої групи і більшою за температуру вологого повітря $T_{\text{п1}} > T_{\text{п2}} > T_{\text{вп}}$ та $T_{\text{п3}} > T_{\text{п4}} > T_{\text{вп}}$, то $q_1 > q_2$, $q_{j1} > q_{j2}$ та $q_3 > q_4$. З урахуванням цього в результаті підстановки — $q_3 - q_4 = \alpha_{\Sigma} \cdot (T_{\text{п3}} - T_{\text{п4}})$ у рівняння (8) та виконання перетворень:

$$q_1 = q_3 + \frac{T_{\text{п1}} - T_{\text{п3}}}{T_{\text{п3}} - T_{\text{п4}}} \cdot (q_3 - q_4) + q_{j1} \quad \text{та} \quad q_2 = q_4 + \frac{T_{\text{п2}} - T_{\text{п4}}}{T_{\text{п3}} - T_{\text{п4}}} \cdot (q_3 - q_4) + q_{j12}; \quad (10)$$

$$q_{j1} = q_1 - q_3 - \frac{T_{\text{п1}} - T_{\text{п3}}}{T_{\text{п3}} - T_{\text{п4}}} \cdot (q_3 - q_4) \quad \text{та} \quad q_{j2} = q_2 - q_4 - \frac{T_{\text{п2}} - T_{\text{п4}}}{T_{\text{п3}} - T_{\text{п4}}} \cdot (q_3 - q_4) \quad (11)$$

одержимо рівняння розрахунку густини потоку маси j , що випаровується з поверхні «мокрих» ПТП:

$$j_1 = q_{j1} / r_{\text{Тп1}} \quad \text{та} \quad j_2 = q_{j2} / r_{\text{Тп2}}. \quad (12)$$

З іншого боку, густина потоку маси, що випаровується з поверхні тіла, може бути визначена за формулою Дальтона:

$$j = \beta_p \cdot (p_{\text{п}} - p_{\text{вп}}) \cdot P_{\text{на}} / P_{\delta}, \quad (13)$$

де β_p — коефіцієнт масовіддачі віднесений до різниці парціальних тисків; $p_{\text{п}}$ і $p_{\text{вп}}$ — парціальні тиски водяної пари біля поверхні випаровування і у вологому повітрі, що досліджується; $P_{\text{на}}$ і P_{δ} — нормальний і діючий атмосферний тиск.

У результаті розв'язання системи рівнянь,

$$\begin{cases} j_1 = \beta_p \cdot (p_{\text{п1}} - p_{\text{вп}}) \cdot P_{\text{на}} / P_{\delta} \\ j_2 = \beta_p \cdot (p_{\text{п2}} - p_{\text{вп}}) \cdot P_{\text{на}} / P_{\delta} \end{cases}, \quad (14)$$

які описують густину потоків маси, що випаровується з двох поверхонь розподілу фаз, що знаходяться в однакових гідродинамічних умовах стосовно вологого по-

вітря, яке досліджується, але мають різні температури ($T_{п1} \neq T_{п2}$) відносно парціального тиску водяної пари у повітрі, отримаємо:

$$p_{вп} = p_{п1} - (p_{п1} - p_{п2}) / (1 - j_2 / j_1). \quad (15)$$

Прийнявши, що $r_1 = r_2$, після підстановки рівняння (12) в (15) отримаємо:

$$p_{вп} = p_{п1} - (p_{п1} - p_{п2}) / (1 - q_{j2} / q_{j1}). \quad (16)$$

Значеннями парціальних тисків насиченої водяної пари біля поверхонь випаровування, $p_{п1}$ і $p_{п2}$, при температурах $T_{п1}$ і $T_{п2}$, які необхідні для визначення $p_{вп}$ за рівнянням (15) або (16), можуть бути розраховані за формулою Ардена Бака (Buck, 1981):

$$p_{н.вп}(t) = 6,1121 \exp \left[\frac{(18,678 - t / 234,5) \cdot t}{257,4 + t} \right], \quad (17)$$

де t — температура у градусах Цельсія.

За формулою Ардена Бака можна також розрахувати значення парціального тиску насиченої водяної пари $p_{н.вп}$ у вологому повітрі при температурі $t_{вп}$ і далі, відносна вологість повітря:

$$\varphi = p_{вп} / p_{н.вп}. \quad (18)$$

Точка роси як певна межа температури повітря, нижче за яку водяна пара, що міститься в повітрі, перенасичується і перетворюється на рідину визначається тільки двома параметрами: температурою і відносною вологістю повітря ($t_{вп}$, φ). Що вища відносна вологість, то вища і ближча до фактичної температури повітря точка роси. Що нижча відносна вологість, то точка роси нижча за фактичну температуру повітря.

Ступінь впливу температури і відносної вологості повітря — функції $f(t_{вп}, \varphi)$, на величину температури точки роси t_p може бути визначена так:

$$f(t_{вп}, \varphi) = \frac{a \cdot t_{вп}}{b + t_{вп}} + \ln(\varphi / 100), \quad (19)$$

де $a = 17,37$, $b = 237,7$ — константи.

Температура точки роси у діапазоні $t_p = (0 \div 50)^\circ\text{C}$, при $t_{вп} = (0 \div 60)^\circ\text{C}$ і $\varphi = (1 \div 100)\%$, з похибкою $\pm 0,4^\circ\text{C}$ може бути розрахована за формулою:

$$t_p = \frac{b \cdot f(t_{вп}, \varphi)}{a - f(t_{вп}, \varphi)}, \quad (20)$$

або визначена за допомогою психрометричних таблиць.

Гідролітичний теплотричний гігрометр (ГТГ). Для контролю параметрів вологого повітря ГТГ в повітропроводі встановлюється як ТТЕГ (рис. 4, а). Для забезпечення процесу вимірювання параметрів вологого повітря СТГ має (рис. 5) два ПТП, 1 та 2, що вкриті шаром капілярно-пористого матеріалу, 5 та 6, у який вмонтовані ЧЕ ТП, відповідно, $T_{п1}$ та $T_{п2}$. Цей матеріал, 5 та 6, а також вкриті їм ПТП і ЧЕ ТП постійно зволожуються рідиною що подається у дренажні канали 9 та 10. Це так звані «мокрі» перетворювачі СТГ. Відповідно, ПТП 3 зі змонтованими на його поверхні ЧЕ $T_{п3}$ — це «сухі» перетворювачі пристрою. Для вимірювання температури повітря $T_{вп}$ використовується термоелектричний перетворювач температури 4.

На відміну від ТТЕГ в ГТГ усі ПТП перебувають при однаковій температурі,

що забезпечується спільними для перетворювачів нагрівачем 8 і пластиною 7, виготовленою з високотеплопровідного матеріалу. В ГТГ, різниця парціальних тисків випаровування вологі з поверхні «мокрих» ПТП, 1 та 2, забезпечується використанням для їх зволоження розчинів солі, тиск пари над насиченим розчином яких нижчий за тиск пари над чистою водою за тієї самої температури (рис. 6).

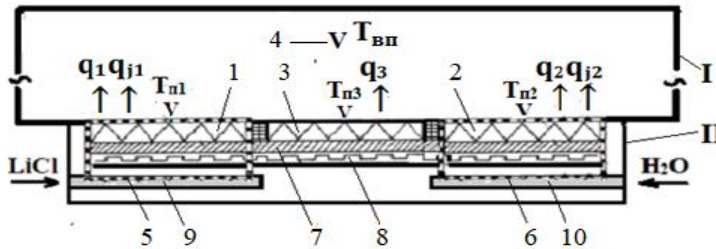


Рис. 5. Гідролітичний теплометричний гігрометр

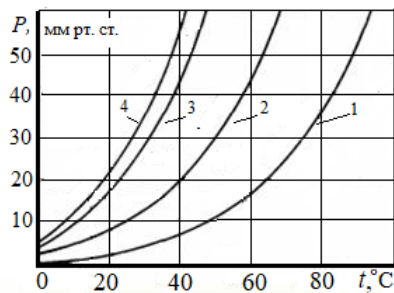


Рис. 6. Криві залежності тиску пари від температури для води та насичених розчинів солей: 1 — LiCl , $\varphi=12\%$; 2 — MgCl_2 , $\varphi=33\%$; 3 — NaCl , $\varphi=75\%$; 4 — H_2O , $\varphi=100\%$

Для ГТГ, як і для ТТЕГ, густини теплового потоку q_1 і q_2 , які вимірюються за допомогою так званих «мокрих» ПТП пристрою, можуть бути описані рівнянням (8). Для контролю вологості повітря за використанням ГТГ, як і за допомогою ТТЕГ, сумарний ефективний коефіцієнт теплообміну α_Σ є сумою коефіцієнтів теплообміну при конвективному α_k і радіаційному α_p теплообміні. У загальному випадку α_Σ може бути визначений за результатами показів «сухих» перетворювачів пристрою:

$$\alpha_\Sigma = \alpha_k + \alpha_p = q_3 / (T_{п3} - T_{вп}). \quad (21)$$

З результатів аналізу рівняння (21) випливає, що для зменшення впливу радіаційного теплообміну на точність визначення α_Σ потрібно, щоб температура джерел випромінювання мало відрізнялась би від температури повітря, вологість якого досліджується. Цього можна досягнути шляхом зменшення теплообміну ділянки повітропроводу, де розташований гігрометр, з навколишнім середовищем, наприклад, шляхом використання ізоляції.

Після підстановки (8) в (21) і перетворення, отримуємо:

$$q_{j1} = q_1 - q_3 \cdot (T_{п1} - T_{вп}) / (T_{п3} - T_{вп}) \quad \text{та} \quad q_{j2} = q_2 - q_3 \cdot (T_{п2} - T_{вп}) / (T_{п3} - T_{вп}). \quad (22)$$

Далі, за формулами (12)—(20) розраховують потрібні характеристики вологого повітря.

Серед переваг запропонованих засобів вимірювання є використання чутливих елементів генераторного типу, які надають можливість тривалого автономного використання приладів у системі централізованого контролю параметрів газових середовищ, та вихідні сигнали яких не потребують посилення при їх передачі вимірювальним каналом до АСУ ТП.

Станом на сьогодні запропонований у статті метод вимірювання вологості і температури газових середовищ проходить перевірку на лабораторних стендах з метою підтвердження на практиці можливості використання термоелектричних перетворювачів теплового потоку для моніторингу вологості газових середовищ. Результати дослідження, метрологічні характеристики пристрою, а також експериментальні дані вимірювання в натурних умовах планується надати у наступній статті.

Висновки

На основі аналізу існуючих методів визначення відносної вологості повітря з'ясовано, що для метеорологічних і мікрокліматичних досліджень навколишнього середовища найбільш часто використовується психрометричний метод.

Для контролю вологості повітря в промислових повітропроводах тривалої дії запропоновано метод визначення температури і вологості газового середовища з використанням перетворювачів теплового потоку, а також розроблено теплотермоелектричний гігрометр для реалізації такого методу на практиці, що дозволить проводити довготривалі вимірювання в централізованих системах контролю газових середовищ. Згідно з методом, параметри повітря визначаються за результатами вимірювання теплоти випаровування з поверхні «вологих» і показів «сухих» перетворювачів теплового потоку з розташованими на їх поверхні, відповідно, «вологими» і «сухими» чутливими елементами перетворювачів температури.

Для контролю вологості повітря в повітропроводах періодичної дії розроблено гідролітичний теплотермічний гігрометр.

Література

Анатичук Л. І. (1979) *Термоелементи і термоелектричні пристрої*: довідник. К.: Наукова думка.

Анатичук Л. І., Михайловський В. Я. (2008). Термоелектричний генератор для автономних опалювальних систем на газовому паливі. *Наука та інновації*, 4(6), 31—37.

Бабак В. П. (2017). *Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем*. К.: Ун-т новітніх технологій; НАУ.

Грищенко Т. Г. (ред.), Декуша, Л. В., Вороб'єв Л. Й., Бурова З. А., Ковтун С. И., Декуша О. Л. (2017). *Теплометрия: теория, метрология, практика*. Кн. 1: Методы и средства измерения теплового потока. К.: Институт технической теплофизики НАН Украины.

Думанський О. В., Корольков О. С. (2023). *Аналіз методів вимірювання температури та вологості повітря в теплиці*. Матеріали XIX Міжнародного форуму молоді. Харків: ДБТУ. Взято з: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/37613>.

Щербань, В. Ю., & Корогод, Г. О. (2021). Представлення узагальнених математичних моделей методів надлишкових вимірювань. Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві.

Кононов В. Б., Кононова О. А. Олексюк В. В. (2021). Методи та принципи побудови засобів вимірювання вологості середовища. *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2 (64), 31–33. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/367863344_METODI_TA_PRINCIPI_POBUDOWI_ZASOBIV_VIMIRUVANNA_VOLOGOSTI_SEREDOVISA/fulltext/63dae44e62da24f92e7d8d9/METODI-TA-PRINCIPI-POBUDOWI-ZASOBIV-VIMIRUVANNA-VOLOGOSTI-SEREDOVISA.pdf.

Кузик А. Д., Балицька В. О., Ярицька Л. І. (2011). Підвищення точності визначення відносної вологості повітря психрометричним методом. *Науковий вісник НЛТУ України*, 21(11), 126—129. Взято з: <file:///C:/Users/moogo/Downloads/pidvischennya-tochnosti-viznachennya-vidnosnoyi-vologosti-povityrya-psihrometrichnim-metodom.pdf>

Луцик Я. Т., Буняк Л. К., Рудавський Ю. К., Стадник Б. І. (2003). *Енциклопедія термометрії*. Львів: Видавництво Львівської політехніки.

Осадчук О. В., Савицький А. Ю., Жагловська О. М. (2014). Прилад для вимірювання вологості повітря чистих кімнат. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, 4. С. 60—63. Взято з: file:///C:/Users/moogo/Downloads/Vchnu_tekh_2014_4_12.pdf.

Лукінюк М. В., Лисенко В. П., Лукін В. С., Гладкий А. М., Шворов С. А., Руденський А. А., Заверткін А. А. (2017). Технічні засоби автоматизації (Частина 1). Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М. Взято з: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/49745/1/Tekhnichni_zasoby_avtomatyz_chast_1.pdf.

Федоров В. Г. (1987). *Основы тепломассометрии*. Київ: Вища школа.

Якість і безпека харчових продуктів: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 20—21 листопада 2019 р. К.: НУХТ, 2019. Взято з: <https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/30757/1/Drichikut.pdf>.

Яворський Б. М., Детлаф А. А., Лебедев А. К. (2007). *Довідник з фізики для інженерів та студентів вищих навчальних закладів*. Тернопіль: Навчальна книга — Богдан.

Arden L. Buck. New equations for computing vapor pressure and enhancement factor. *American Meteorological Society* (1981). Взято з: https://en.wikipedia.org/wiki/Arden_Buck_equation.

Imran Ali Lakhia, Jianmin Gao, Tabinda Naz Syed, Farman Ali Chandio & Noman Ali Buttar (2018). Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 338—352. DOI: 10.1080/17429145.2018.1472308.

Korner O., Challa H. (2003). Process-based humidity control regime for greenhouse crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 39 (3), 173—192. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/222398568_Process-based_humidity_control_regime_for_greenhouse_crops.

Nilsson, Lars-Olof (Ed.). (2018). Methods of measuring moisture in building materials and structures. Взято з: <https://ruarrioseph.com/tehnologii/109538-kondensacionnyy-gigrometr-gigrometr-dlya-izmereniya-vlazhnosti-vozduha.html>

Rabbi B., Chen Z.-H., Sethuvenkatraman S. (2019). Protected Cropping in Warm Climates: A Review of Humidity Control and Cooling Methods. *Energies*, 12 (14), 1—24. Взято з: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/14/2737>.

Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., & Chaurasia, O. P. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation*, 17(4), 364–371.

Shcherban' V., Korogod G., Chaban V., Kolysko O., Shcherban' Yu., Shchutka A. (2019). Computer simulation methods of redundant measurements with the nonlinear transformation function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (98), 16—22.

Tai H., Wang S., Duan Z., & Jiang Y. (2020). Evolution of breath analysis based on humidity and gas sensors: Potential and challenges. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 318, 128104. doi.org/10.1016/j.snb.2020.128104.

Wibawa, I. M. S., Putra, I. K. (2022). Design of air temperature and humidity measurement based on Arduino ATmega 328P with DHT22 sensor. *International Journal of Physical Sciences and Engineering*, 6(1), 9—17. doi.org/10.53730/ijpse.v6n1.3065.

SYNTHESIS OF THE INTELLECTUAL SYSTEM FOR ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM EQUIPMENT WITH PHOTOELECTRIC PLANTS AND ENERGY STORAGE

S. Baliuta, L. Kopilova, Iu. Kuievda, M. Kondrashevsky, V. Romaniuk
National University of Food Technologies

Key words:

*Electrical equipment
Technical condition
Data analysis
Intellectual technologies
Fuzzy logic
Neural networks
Support systems and
decision making
Energy consumption
Development
Food industry
Trend of modernization*

Article history:

Received 10.01.2024
Received in revised form
26.01.2024
Accepted 13.02.2024

Corresponding author:

V. Romaniuk
E-mail:
v.t.romaniuk@gmail.com

Citation: С. М. Балюта, Л. О. Копилова, Ю. В. Куєвда, М. С. Кондрашевський, В. Т. Романюк (2024). Синтез інтелектуальної системи оцінки технічного стану обладнання системи електропостачання з фотоелектростанціями та накопичувачами енергії. *Наукові праці НУХТ*, 30(1), 105—118. DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-1-11

ABSTRACT

In the conditions of digitalization and the introduction of intellectual systems in various fields, including in the power industry, technologies for working with information of various volumes and content for making management decisions are becoming important. Ensuring the reliability and efficient operation of objects of the electrotechnical complex requires the use of mechanisms for comprehensive assessment of the operability of electrotechnical equipment based on current information about its condition. The purpose of the research is to describe the principles of comprehensive assessment of the state of electrical equipment using the technology of intellectual analysis of data obtained during diagnostics and monitoring of its key elements. A systematic approach to managing the technical condition of electrical equipment based on the results of diagnostics, monitoring, and intellectual data analysis is proposed in the article. Mathematical models of complex assessment of equipment condition using intellectual technologies are considered. A model of the system of proactive management of the condition of the equipment is proposed, which involves the selection and use of various methods of intellectual analysis of information about changes in its key diagnostic parameters. The main distinguishing features of the proposed decision support system are: solving tasks as control, but also forecasting values of diagnostic parameters of electrical equipment; analysis of not only the actual values of the controlled parameters, but also their dynamics, using not only probabilistic statistical methods, but also methods of artificial intelligence, cognitive and fuzzy cognitive modeling. This allows detecting malfunctions, failures of electrical equipment at an early stage of development; prevent emergency situations; produce and take measures to prevent them in conditions of uncertainty and large volumes of raw data; the universality of the system, which consists in the possibility of its application in all branches of industry (chemical, oil, metallurgical, atomic energy, etc.). An example of creating a model of a lithium-ion battery is given, and the method of identifying model parameters is presented.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-1-11

СИНТЕЗ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ФОТОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ ТА НАКОПИЧУВАЧАМИ ЕНЕРГІЇ

С. М. Балюта, Л. О. Копилова, Ю. В. Куєвда, М. С. Кондрашевський,
В. Т. Романюк

Національний університет харчових технологій

В умовах цифровізації та впровадження інтелектуальних систем у різних сферах, зокрема в електроенергетиці, важливого значення набувають технології роботи з інформацією різного обсягу та змісту для прийняття управлінських рішень. Забезпечення надійності та ефективної експлуатації об'єктів електротехнічного комплексу потребує застосування механізмів комплексної оцінки працездатності електротехнічного обладнання (ЕО) на основі актуальної інформації про його стан.

Мета статті полягає в описі принципів комплексної оцінки стану ЕО з використанням технологій інтелектуального аналізу даних, що одержуються в ході діагностики і моніторингу за його ключовими елементами. Запропоновано системний підхід до управління технічним станом ЕО за результатами діагностики, моніторингу та інтелектуального аналізу даних. Розглянуто математичні моделі комплексної оцінки стану обладнання з використанням інтелектуальних технологій. Розроблено модель системи проактивного управління станом обладнання, що передбачає вибір та використання різних методів інтелектуального аналізу інформації про зміну його ключових діагностичних параметрів. Основними відмінними рисами запропонованої інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) є: вирішення завдань як контролю, так і прогнозування значень діагностичних параметрів ЕО; аналіз не тільки фактичних значень контрольованих параметрів, але і їх динаміки, з використанням не тільки ймовірно-статистичних методів, але й методів штучного інтелекту, когнітивного і нечіткого когнітивного моделювання. Це дає змогу виявляти несправності, відмови ЕО на ранній стадії розвитку; запобігати аварійним ситуаціям; виробляти та вживати заходів щодо їх запобігання в умовах невизначеності та великих обсягів вихідних даних; універсальність системи, що полягає у можливості її застосування у всіх галузях промисловості (хімічної, нафтової, металургійної, атомної енергетики тощо). Наведено приклад побудови моделі літій-іонної батареї та представлено методуку ідентифікації параметрів моделі.

Ключові слова: *електротехнічне обладнання, технічний стан, аналіз даних, інтелектуальні технології, нечітка логіка, нейронні мережі, системи підтримки та прийняття рішень.*

Постановка проблеми. У сучасних умовах ефективна робота будь-яких промислових, технологічних і цивільних об'єктів обумовлюється їх безперебійним електрозабезпеченням. Тенденції цифровізації всіх галузей економіки передбачає

перехід до інтелектуальних електромереж, що характеризуються високою відмовостійкістю, надійністю. Це, у свою чергу, неможливо без комплексного впровадження сучасних цифрових (інформаційно-телекомунікаційних, аналітичних і керуючих) рішень.

Завдання полягає у створенні енергоінформаційної інфраструктури, що буде забезпечувати ефективний контроль і оперативне управління технічним станом (ТС) електрообладнання (ЕО) систем електрозабезпечення за критеріями мінімізації аварійних ситуацій, простою обладнання, а також зниження сукупних витрат на його експлуатацію.

Робота такої складної розподільної структури базується на можливості отримання й обробки інформації про роботу обладнання без його виключення від мережі живлення. Тому основою для прийняття раціональних рішень інженерно-технічним персоналом у короткостроковій і довгостроковій перспективі є інтеграція інтелектуальних методів оцінювання стану ЕО та отримання об'єктивних даних про його роботу. Проте оцінка стану промислового ЕО вимагає використання великої кількості вихідної інформації, що має значний ступінь невизначеності, зумовлений, з одного боку, фактором випадковості, а з іншого, нечіткістю інформації. Погано формалізований характер задачі оцінювання стану промислового ЕО, пов'язаний з неповною вихідною інформацією, отриманою під час експлуатації, зі складністю обладнання та визначенням взаємозв'язків між параметрами, значення яких можуть бути передбачені різними типами даних (чіткими, нечіткими); з необхідністю застосування експертної інформації, отриманої в результаті досвіду персоналу, для підвищення достовірності результатів оцінки, що призводить до обмеження можливості застосування традиційних методів, заснованих на обробці статистичної (сукупної) інформації.

Отже, при розробці інтелектуальної системи оцінки стану ЕО необхідно використовувати інтелектуальні методи, що забезпечують вивчення й обробку не тільки кількісної, але і якісної вихідної інформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання розробки моделей та методів підтримки прийняття рішень для оцінки стану промислового електротехнічного обладнання були розглянуті в працях українських і зарубіжних вчених: В. Г. Кузнецова, А. К. Шидловського, О. С. Бешти, І. А. Биргера, О. В. Кириленка, Г. С. Осіпова, Д. А. Поспелова, Г. С. Цейтіна, Б. І. Мокіна, Р. Н. Кветного, В. М. Дубового, І. В. Кузьміна, С. Д. Штовби, О. В. Бісікала, В. Б. Мокіна, Д. Ахєєва (J. Ahyoev), Р. Гілморе (R. J. Gilmore), Я. Джанга (Y. Zhang), П. Кумара (P. Kumar), М. Жарковича (Mileta Žarković), В. Томсона (W. T. Thomson) та багатьох інших.

Однак у зазначених працях більшість методів і моделей підтримки прийняття рішень засновані на механічних джерелах відмов і збоїв, при цьому не враховується вплив основних показників якості електричної енергії, хоча ЕО дуже чутливе до них; не у всіх методах враховується зовнішня інформація, наприклад, інформація про кліматичні умови (перепади температур, грози тощо); відсутня систематизація різнотипної діагностичної інформації при її аналізі й обробці.

Незважаючи на значну кількість досліджень українських і зарубіжних вчених з проблеми підтримки прийняття рішень при оцінюванні стану промислового ЕО за допомогою різних моделей та методів, це завдання вирішено не повністю.

При проведенні оцінки стану ЕО в більшості випадків використовуються традиційні моделі та методи підтримки прийняття рішень, які не дають змоги врахувати всі необхідні діагностичні параметри та фактори. Тому виникає необхідність у розробці нових моделей і методів, що враховують всілякі діагностичні параметри та фактори, які мають як кількісний, так і якісний характер.

Вирішення зазначених завдань неможливе без застосування систем діагностування ЕО і систем підтримки та прийняття рішень (СППР), що полягають у допомозі оперативному персоналу та особі, що приймає рішення (ОПР), у контролі й аналізі його технічного стану; у генерації можливих рішень щодо справності обладнання на основі цього аналізу, а також у запобіганні аварійним ситуаціям на ранній стадії.

Натепер існує велика кількість методів підтримки прийняття рішень для оцінки стану ЕО, проте найцікавіші такі складові: нечітка логіка, генетичні алгоритми, штучні нейронні мережі (ШНМ).

У праці (Manusov, & Ahyoev, 2015) розглянуто метод оцінки ТС ЕО підстанцій та електричних мереж з використанням нечітких логічних моделей, заснованих на нечітких зв'язках між прогнозованими та реальними причинами відмов, а також на матриці нечітких співвідношень. Метод дає змогу вибрати найбільш достовірну ознаку відмов за наявності кількох альтернатив і критеріїв. Процес прийняття рішень на основі результатів щодо ТС обладнання може здійснюватися з використанням методу Сааті. Очевидними перевагами використання теорії нечітких множин і нечіткої логіки в задачах оцінки стану ЕО є: гнучкість подання вихідної інформації та інтерпретування кінцевого результату; простота побудови моделей, зокрема з використанням експерта; скорочення обсягу обчислень і висока швидкодія.

У праці (Arbuzov, Ivchenko, Matiukhina, Pavelyev, & Ostroukh, 2018) розглядається підхід до застосування ШНМ у задачах технічного стану турбогенераторів для вимірювання вібрацій спектрограмів електростанцій. Вирішувалися два завдання: фільтрація перешкод у вимірювальних даних з використанням лінійної нейронної мережі та діагностика (класифікація) стану турбогенераторів на основі аналізу спектрограм вібраційних вимірів з використанням нейронної мережі персептронного типу. Запропонований підхід сприяє ранньому виявленню передавальних ознак. ШНМ є методом моделювання складних залежностей у завданнях прогнозу, класифікації, управління та діагностики з можливістю навчання й адаптації до різних змін.

У праці (Imoru, Odun Ayo, Nelwamondo, Fulufhelo, Jimoh, Adisa, & Ayodele, Temitore Raphael, 2021) розглядається підхід до виявлення несправностей обмоток в електричній машині на основі використання зразків даних електричної машини як у справному стані, так і в умовах різних несправностей. Створюється дворівнева мережа з прямим зв'язком з алгоритмом зворотного поширення Левенберга-Марквардта із зібраним вхідним набором даних. Запропонований підхід дає змогу ідентифікувати стан електричної машини із високою точністю. До переваг моделей оцінки стану ЕО з використанням ШНМ необхідно віднести: стійкість під час роботи з недостовірною інформацією; стійкість до шумів у вхідній діагностичній інформації; можливість адаптації до нових умов; здатність ефективно обробляти інформацію високої розмірності; мінімальне втручання користувача в

процес навчання. До недоліків ШНМ відносять: складність реалізації та навчання мережі; необхідність у великому обсязі архівної діагностичної інформації для якісного навчання розробленої ШНМ.

Отже, проведений аналіз існуючих методів діагностування ЕО встановити, що (Kolodenkova, Vereshchagina, & Muntyan, 2020):

- методи розроблені для конкретного обладнання, враховують конкретні діагностичні параметри та їх використання для іншого обладнання не застосовується;
- у методах підтримки прийняття рішень не враховується вплив зовнішнього середовища, наприклад, інформація про кліматичні умови (перепади температур, грози тощо);

- більшість моделей і методів підтримки прийняття рішень для оцінки стану ЕО засновані на механічних джерелах відмов та збоїв, при цьому не враховується вплив основних показників якості електроенергії (ПЯЕ), хоча ЕО дуже чутливі до них.

Для підвищення ефективності прийняття рішень щодо стану ЕО необхідно розробляти та застосовувати нові моделі та методи підтримки прийняття рішень для оцінки стану ЕО з використанням засобів нечіткої логіки та ШНМ, заснованих на застосуванні кількох видів діагностичних параметрів, що дає великий обсяг інформації, одночасно знижуючи трудомісткість та спрощуючи обробку інформації. Розроблені моделі та методи дають змогу оцінювати не тільки механічні й електричні несправності, що викликають відмови та збої ЕО, але й отримувати та використовувати знання, накопичені оперативним і ремонтним персоналом.

Мета дослідження: удосконалення системи оцінки технічного стану ЕО систем електропостачання з фотоелектростанціями (ФЕС) та накопичувачами енергії (НЕ) шляхом застосування інтелектуальних методів обробки інформації, формалізації знань і досвіду експертів, а також автоматизації процесу прийняття рішень.

Матеріали і методи. Комплексна оцінка ТС ЕО повинна здійснюватися відповідно до сучасних механізмів діагностування (предиктивний, проактивний, прескриптивний).

Викладення основних результатів дослідження. Відповідно до (Eltyshev, 2020) спрощена модель комплексної оцінки ТС ЕО на основі технології збору й обробки даних може бути розглянута як функція виду:

$$K(t) = f(M, X(t), N, Y), \quad (1)$$

де $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ — набір методів і програмно-технічних засобів оцінювання стану ЕО; $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ визначає набори діагностичних параметрів ЕО для кожного виду контролю $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$, $i = 1 : n$; N — вектор граничних умов працездатності ЕО; $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ — безліч класів нормативних чи дефектних станів.

Підставами для інтелектуалізації процедури оцінки та прогнозування ТС ЕО є: характер завдання, який є неструктурований і погано формалізується; неоднороззначність у нормуванні діагностичних ознак і частка суб'єктивізму, що вноситься персоналом, який приймає рішення; можлива неповнота даних за деякими знака-

ми; необхідність вироблення обґрунтованих рішень за умов тимчасових обмежень; необхідність коригування та введення додаткової інформації й ітеративний характер формування рішень (Eltyshev, & Boyarshinova, 2016).

Питання підготовки даних для формування інтелектуальних моделей, а також логічного опису діагностичних параметрів за допомогою нечітких функцій і процедур кластерного аналізу частково розглянуті в (Eltyshev, & Gnutova, 2018). Варто зазначити, що вирішення завдань у цій галузі з урахуванням особливостей розвитку електроенергетичної галузі, як і раніше, є актуальним.

Ефективна реалізація наведеного на рис. 1 підходу до організації системи контролю ТС ЕО передбачає використання сучасних методів аналізу й обробки даних. Приклади використання інструментів обробки даних на основі інтелектуальних технологій, нечіткої логіки, машинного навчання наведено в (Khal'yasmaa, Dmitriev, & Kokin, 2016).

На рис. 1 представлена структура інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) оцінювання та діагностування ЕО, що включає чотири основні модулі: модуль збору та зберігання вихідних даних; модуль обробки вихідних даних і знань; модуль діагностування та прогнозування; модуль формування рекомендацій і прийняття рішень (Kolodenkova, Vereshchagina, & Muntyan, 2020).

Розглянута ІСППР є програмним комплексом для автоматизованого збору первинної інформації про ЕО, обробки та візуалізації різної різномірної діагностичної й експертної інформації, а також формування вихідної інформації у вигляді поточного стану ЕО (справний стан ЕО/справний стан ЕО, але з невеликими відхиленнями).

Модуль збору та зберігання вихідних даних забезпечує прийом інформації від різних різномірних вимірювальних приладів і датчиків (наприклад, частоти, напруги фаз А, В, С, напруги інверторів тощо), зовнішнього середовища (наприклад, інформація про кліматичні умови (температура, освітленість, блискавка тощо)), а також при візуальному огляді оперативним персоналом.

Уся інформація з оцінки стану ЕО, необхідна оперативному персоналу, зберігається у базі даних (БД). У БД зберігається інформація за всіма діагностичними параметрами протягом усього періоду часу проведення випробувань і дані вимірювань, отримані в режимі реального часу, що зберігаються у файлах формату Excel (*.xls). Також БД містить довідкову інформацію за діагностичними параметрами.

У модулі обробки вихідних даних здійснюється обробка даних, що надходять із БД, які будуть використані в модулі діагностування та прогнозування (Kolodenkova, Vereshchagina, & Khalikova, 2020). Обробка передбачає структурування знань і нормалізацію діагностичної й експертної інформації, поданої у вигляді чітких даних, інтервалів, лінгвістичних змінних, з метою застосування методів і технологій м'яких обчислень. Для застосування ймовірно-статистичних методів обробка даних необов'язкова.

У модулі діагностування та прогнозування здійснюється діагностування та прогнозування стану ЕО на основі даних бази знань (БЗ) і бази методів. БЗ — це ядро ІСППР, яка поповнюється за допомогою знань і досвіду оперативного персоналу (заміна правил чи фактів у БЗ).

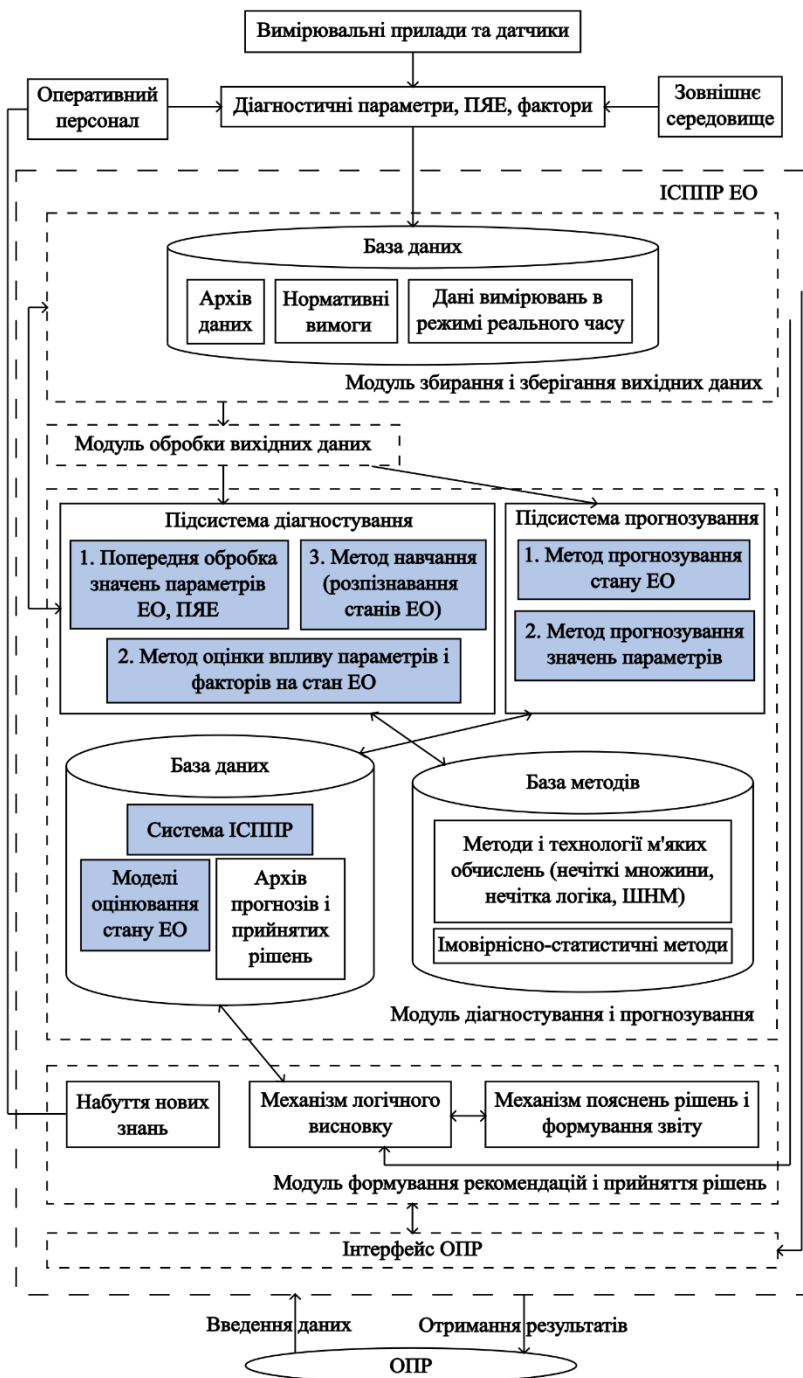


Рис. 1. Структура ІСППР оцінки та прогнозування стану ЕО

Пропонована БЗ може містити різні інтелектуальні методи оцінки стану ЕО, сценарії розвитку ситуацій, архіви прогнозів, а також рекомендації та ухвалені діагностичні рішення. Результати діагностування та прогнозування надходять у модуль формування рекомендацій і прийняття рішень. Якщо після застосування підсистеми діагностування виявиться, що стан ЕО справний/справний, але з невеликими відхиленнями, то інформація передаються в модуль формування рекомендацій і прийняття рішень.

ОПР видається рекомендація ухвалити рішення за принципом «так»—«ні» (наприклад, чи здійснювати подальше діагностування та прогнозування ЕО), в результаті якого в режими функціонування СППР вносяться відповідні зміни. Підсистема діагностування тісно пов'язана з підсистемою прогнозування.

Модуль формування рекомендацій і прийняття рішень відповідає за видачу ОПР рішення з урахуванням виявлених відхилень у роботі ЕО у зручному та наочному для нього вигляді (наприклад, звіт у текстовій формі).

До складу цього модуля входять такі компоненти:

1) придбання та поповнення нових знань. Цей компонент забезпечує роботу оперативного персоналу з підтримки інтелектуальних методів ІСППР, генерації БЗ, поповнення новими знаннями, її перевірки на повноту та несуперечність, а також адаптації БЗ системи до умов її функціонування. Адаптація ІСППР до змін у предметній галузі полягає у перевизначенні діагностичних параметрів, ПЯЕ, факторів у інтелектуальних методах оцінювання, заміні ІСППР у БЗ. Знання в модуль діагностування та прогнозування передаються у вигляді завершеної інформації про ЕО (значення яких параметрів відхилялися від норми, у який час спостерігалось відхилення і як довго воно тривало, які заходи були вжиті тощо) для подальшого їх використання в підсистемі діагностування та прогнозування. Результатом цього компонента є заповнення БЗ;

2) механізм логічного виведення. Цей компонент призначений для виконання аналізу й отримання нових знань у порівнянні вихідних даних із БД і БЗ, тобто забезпечує пошук відповіді на питання ОПР;

3) механізм пояснення рішень і формування звітів необхідний для запиту пояснення ходу рішення ОПР у процесі або за результатами розв'язання задачі (пояснює, як отримано чи не отримано рішення задачі, які знання при цьому були використані, задіяні), що полегшує оперативному персоналу тестування ІСППР та підвищує довіру ОПР до отриманих результатів.

Інтерфейс дає змогу ОПР запускати обчислювальні експерименти та переглядати отримані результати.

Основними можливостями пропонованої ІСППР є:

- побудова, редагування та аналіз інтелектуальних методів для оцінки стану ЕО;

- побудова та редагування БЗ, що містить ІСППР для ухвалення остаточних діагностичних рішень;

- побудова прогнозних моделей як функціональних залежностей будь-яких контрольованих параметрів ЕО, і навіть розрахунок прогнозних значень контрольованих параметрів за даними моделей;

- пошук відхилень значень параметрів ЕО від допустимих норм із застосуванням БД та БЗ;

- моделювання та прогнозування розвитку несприятливих ситуацій, що виникають на етапі експлуатації ЕО.

Основними характерними рисами запропонованої ІСППР є можливості:

1) вирішення завдань як контролю та прогнозування значень діагностичних параметрів ЕО;

2) аналізу не тільки фактичних значень контрольованих параметрів, але і їх динаміки, з використанням не тільки ймовірносно-статистичних методів, але й методів штучного інтелекту, когнітивного і нечіткого когнітивного моделювання. Це дає змогу виявляти несправності, відмови електрообладнання на ранній стадії розвитку; запобігати аварійним ситуаціям; виробляти та вживати заходів щодо їх запобігання в умовах невизначеності та великих обсягів вихідних даних;

3) універсальність системи, що полягає у можливості її застосування у всіх галузях промисловості (хімічної, нафтової, металургійної, атомної енергетики тощо).

Отже, пропонована ІСППР дає змогу не тільки оцінювати реальний стан ЕО на певний момент часу в умовах широкого переліку параметрів, що діагностуються, ПЯЕ, факторів, а й спрогнозувати їх значення, виявити можливі несправності, відмови ЕО на ранній стадії їх розвитку; запобігти аварійним ситуаціям та знизити ризик техногенних катастроф; прийняти науково обґрунтовані діагностичні рішення щодо стану ЕО.

Система моніторингу ФЕС. Для фотоелектричних систем доступні кілька типів моніторингу: системи, які з'єднані з інверторами та контролюють усі електричні значення, пов'язані з продуктивністю системи та статусом інверторів; системи без комунікаційних протоколів для інверторів, але з вимірювальними підключеннями для моніторингу генерованої сонячної енергії; гібридні системи, які надають інформацію як від інверторів, так і від зовнішніх вимірювань, таких як сонячне випромінювання й температура.

Тільки системи, які вимірюють сонячне випромінювання, можуть надати інформацію про модулі для всієї системи на основі продуктивності інверторів. Оскільки прогнози ефективності, зазвичай, базуються на метеорологічній статистиці, дані про потужність іноді важко оцінити без посилання на сонячне випромінювання. Аномально низька потужність може бути викликана такими причинами: низька сонячна радіація протягом тривалого часу (що не відповідає метеорологічній статистиці), проблема з модулями (відкладення, тіні, помилки підключення тощо), несправність інвертора, пошкодження в колі. Ці несправності можна виявити, лише якщо система оснащена датчиками для вимірювання сонячної радіації й температури, а потужність можна порівняти з фактичною потужністю. Залежно від розміру системи можна контролювати фази окремо або групами, щоб визначити незаплановані відхилення потужності між фазами.

Системи спостереження можуть бути автономними або працювати через віддалений моніторинг. В автономній системі моніторингу дані збираються локально, а тривожні повідомлення надсилаються безпосередньо обслуговуючому персоналу.

У системах віддаленого моніторингу дані збираються локально, а сигнали тривоги та інформація про продуктивність передаються безпосередньо в систему дис-

танційного моніторингу, яка координує час очікування для технічного обслуговування. Це забезпечує точний моніторинг, що важливо для систем із кількома об'єктами, де оператори не завжди можуть бути на місці.

Система моніторингу забезпечується даними від різних датчиків. Датчик для вимірювання поточної енергії світлового випромінювання, наприклад, піранометр (датчик тепла для вимірювання сонячної радіації при природному освітленні (Вт/м^2)) — це стандартна інформація для системи. Вимірювання, що дає змогу виявляти коливання в часі, рекомендовано всім операторам, які хочуть проводити порівняльний аналіз і генерувати статистику продуктивності своїх систем.

Температура є важливим фактором для фотоелектричних систем. Цей датчик є або зовнішнім зондом, або встановленим підмодулями.

Оцінювання стану літій-іонного акумулятора. Для досягнення оптимального терміну служби літій-іонної батареї необхідно обмежити робочий діапазон, уникати градієнтів потужності й обмежувати високі рівні заряду.

При оптимізації систем електрозабезпечення використовуються моделі онлайн-імітації акумуляторної батареї. Основою цього є діагностика стану, завданням якої є виявлення модельних параметрів онлайн-імітаційної моделі у процесі експлуатації.

Для цього потрібні відповідні імітаційні моделі, які відображають електричну, термічну поведінку та поведінку при старінні (рис. 2).

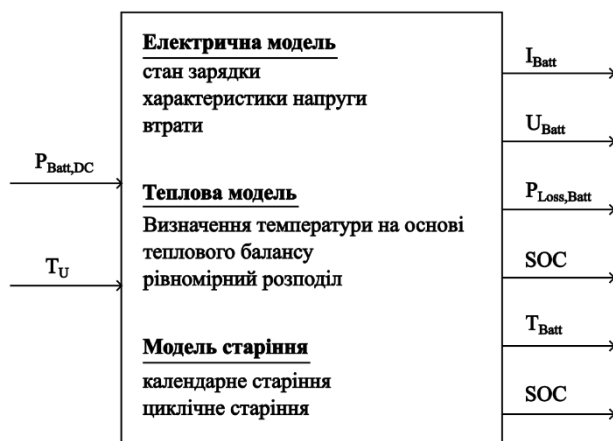


Рис. 2. Модель літій-іонного акумулятора

Вхідними даними імітаційної моделі є потужність батареї $P_{\text{Batt,DC}}$ і температура навколишнього середовища T_U . Вихідними змінними є втрати струму батареї P_{lossBatt} , стан заряду SOC, температура батареї T_{Batt} та старіння батареї як стану працездатності (SOH).

Опис електричних характеристик літій-іонної батареї не включає температурну залежність параметрів моделі.

Електрична модель. Літій-іонний акумулятор моделюється за допомогою підходу, заснованого на електричному колі (Appen, Kneiske, & Braun, 2013). Він характеризується обмеженим числом параметрів моделі, простою реалізацією й

адаптивністю до різних технологій. Крім того, цей підхід добре підходить для реалістичного опису втрат, а також статичної та динамічної поведінки. Усі параметри в запропонованій моделі є функціями стану заряду SOC_{Batt} та поточного струму I_{Batt} . Вибрана модель складається з джерела напруги UOCV, послідовного опору $R_{0,\text{Batt}}$ та послідовно з'єднаних паралельних RC контурів: R_1C_1 та R_2C_2 .

Напруга холостого ходу UOCV визначає статичну поведінку літій-іонної батареї. Нелінійна залежність між напругою холостого ходу UOCV та станом заряду батареї SOC_{Batt} представляється характеристикою UOCV-SOC. Послідовний опір R_0 характеризує омичні втрати на контактах, електродах та електроліті. Вони залежать від напрямку струму та стану заряду SOC_{Batt} . Результуючу напругу U_0 можна розрахувати за законом Ома. Стан заряду SOC_{Batt} обчислюється методом кулонівського рахунку зі струмом батареї I_{Batt} як вхідні дані. У цій моделі нехтують втратами заряду та розряду.

Теплова модель. Теплова поведінка описується відповідно до моделі еквівалентної схеми, представленій в (Rakhmatov, & Vrudhula, 2001), яка зводить просторовий розподіл виділення тепла до зосереджених параметрів. Тепло розсіюється в основному за рахунок випромінювання та конвекції, і його можна вважати лінійним:

$$P_A = A_{\text{Batt}} \cdot (c_{s,\text{Batt}} + c_{k,\text{Batt}}) \cdot (T_{\text{Batt}} - T_U). \quad (2)$$

Крім двох коефіцієнтів теплопередачі $c_{s,\text{Batt}}$ (випромінювання) і $c_{k,\text{Batt}}$ (конвекція), площа поверхні батареї A_{Batt} грає роль розрахунку теплової потужності P_A . Для температури довкілля передбачається постійне значення 20 °C. Температура батареї T_{Batt} розраховується на основі теплового балансу та питомої теплоємності температура батареї за рівнянням (3):

$$T_{\text{Batt}} = T_{\text{Batt},0} + \frac{1}{C_{\text{batt},th}} \int (P_{\text{Loss},\text{Batt}} - P_A) dt, \quad (3)$$

де $C_{\text{Batt},th}$ характеризує тепловий коефіцієнт теплопередачі.

Модель старіння. Модель старіння літій-іонної батареї ґрунтується на напівемпіричному підході, представленому в (Schmalstieg, Käbitz, Ecker, & Sauer, 2014).

Структура моделі визначається з урахуванням експериментальних досліджень з урахуванням фізичних законів.

Порівняно з підходами, які враховують лише календарне старіння (Sarasketa-Zabala, Gandiaga, Rodriguez-Martinez, & Villarreal, 2014) або циклічне старіння батареї (Sarasketa-Zabala, Gandiaga, Martinez-Laserna, Rodriguez-Martinez, & Villarreal, 2015), у цьому підході реалізовано обидва компоненти старіння. Загальне старіння є результатом суми календарного та циклічного старіння.

Зменшення ємності C_n , приведене до одиниці, розраховується так:

$$C_n = 1 - \alpha_{cap} \cdot (t)^{0.75} - \beta_{cap} \cdot \sqrt{Q}. \quad (4)$$

Перший елемент визначає календарне старіння. Коренева залежність від часу є зростанням шару SEI. Температурна залежність за законом Арреніуса і залежність стану заряду відображаються через коефіцієнт α_{cap} . Із зростанням температури батарея старіє швидше. Високі рівні заряду негативно впливають на швидкість старіння.

Циклічне старіння моделюється за допомогою квадратного кореня із циклів та коефіцієнта β_{cap} . Коефіцієнт β_{cap} залежить від середньої напруги за повний цикл та глибини розряду DOD.

Нормований внутрішній опір R_n розраховується так само, як і для зменшення ємності, з тією різницею, що кількість заряду Q включається не через квадратний корінь, а лінійно:

$$R_n = 1 + \alpha_{res} \cdot (t)^{0,75} + \beta_{res} \cdot Q. \quad (5)$$

Метод ідентифікації параметрів. Проводять три характерні експерименти для визначення параметрів моделі. До них відносяться циклічний тест, вимірювання напруги холостого ходу та імпульсний тест.

Ємність акумулятора визначається на основі циклічного тесту. Акумулятор заряджається та розряджається постійним струмом (наприклад, 10 А) у заданих межах напруги, а вимірюваний струм інтегрується. Багаторазове повторення цього циклічного тесту і подальше усереднення ємності зменшує стохастичні змінні, що впливають. Щоб гарантувати, що всі компоненти перенапруги згасли і система простоє, є годинна перерва.

Характеристика напруги холостого ходу визначається зарядкою батареї певним струмом, починаючи з нижньої межі напруги протягом певного періоду часу. Це відповідає значенню SOC, що дорівнює 0%. Потім чекають, поки знизяться складові перенапруги, і після цього вимірюють напругу на клеммах. Ця процедура повторюється до тих пір, поки не буде досягнуто верхньої межі напруги для вибраних станів заряду, які діють як опорна точка для таблиці пошуку.

Третій експеримент включає серію різних імпульсів зарядного і розрядного струму для визначення омичної складової $R_{0,Batt}$ і параметрів першого резистивно-ємнісного елемента залежно від стану заряду. Тривалість імпульсу та пауза — кожні 300 секунд.

Параметри моделі визначаються за декілька етапів. По-перше, оцінюється циклічний тест визначення ємності батареї і тест напруги холостого ходу визначення співвідношення UOCV-SOC. Параметри $R_{0,Batt}$, R_1 і τ_1 для процесу зарядки та розрядки для заданих станів зарядки потім проводиться імпульсний тесту відповідно до наступної процедури. Для кожної послідовності імпульсів внутрішній опір $R_{0,Batt}$ розраховується за рівнянням (6). Усереднення за зареєстрованими імпульсами (чотири в позитивному та негативному напрямку) знижує вплив випадкових помилок виміру:

$$R_0 = \frac{U_{batt,2} - U_{batt,1}}{I_{batt,2} - I_{batt,1}}. \quad (6)$$

На наступному етапі ідентифікується перший RC-елемент залежно від напрямку струму методом найменших квадратів. Мета полягає в тому, щоб вибрати параметри моделі таким чином, щоб сума квадратів помилок знаходилася між вимірними і модельованими напругами батареї були мінімальною. Кількість вимірюваних значень n залежить від вибраної тривалості імпульсу:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (U_{вим}[i] - U_{мод}[i])^2}. \quad (7)$$

Набір даних циклічного тесту використовується для визначення другого елемента RC. Ідентифікація ґрунтується на першому елементі RC, але не залежить від стану заряду. Ефективність зарядки та розрядки $\eta_{ch/disch}$ також визначається за допомогою циклічного тесту.

Отже, запропоновані методи оцінювання стану фотоелементів ФЕС та НЕ на основі літій-іонних батарей забезпечать надійну ефективну роботу системи електрозабезпечення.

Висновки

У статті розглянуто аспекти розробки системи комплексної оцінки та управління технічним станом ЕО з використанням методів інтелектуального аналізу даних.

Запропоновано та розглянуто структуру ІСППР діагностування ЕО в умовах діагностичної та експертної інформації. Запропонована система дає змогу вирішити завдання не тільки контролю, а й прогнозування стану ЕО з використанням засобів нечіткої логіки та ШНМ, прийняти правильні діагностичні рішення щодо стану ЕО. При цьому запропонована ІСППР є універсальною, оскільки існує можливість застосування її у всіх галузях промисловості (харчової, хімічної, металургійної, атомної енергетики тощо).

Використання інтелектуальних методів (нечіткі множини, нечітка логіка, нейронні мережі) надає можливість здійснювати синтез діагностичних моделей, що дають змогу інтуїтивно зрозуміло і з високою точністю визначити стан обладнання, а також здійснювати адаптацію при зміні набору статистичних даних. З цією метою важливо забезпечити підтримку функціонування єдиного інформаційного середовища, яке безперервно або із заданою періодичністю акумулює поточну інформацію про значення діагностичних параметрів ЕО, а також реальні факти зміни стану ЕО.

Реалізація системи комплексної оцінки та проактивного управління ТС ЕО, адаптивної до змін у його роботі, дасть змогу в майбутньому вибудувати ефективну систему інтегрованої логістичної підтримки обладнання та впливати не лише на техніко-економічні показники процесу його експлуатації, а й на якість проектних рішень у галузі створення конкурентоспроможних електротехнічних виробів.

Запропоновані методи оцінювання стану акумуляторів НЕ і моніторингу стану фотомодулів фотоелектростанції дадуть змогу підвищити ефективність використання фотомодулів та забезпечити нормативний термін використання акумуляторів.

Література

Appen, J. von, Kneiske, T., & Braun, M. (2013). Voltage control using PV storage systems in distribution systems, Proceedings of the 22nd International Conference and Exhibition on Electricity, Stockholm, Sweden. doi: 10.1049/cp.2013.1217.

Arbuzov, V., Ivchenko, V., Matiukhina, E., Pavelyev, S., & Ostroukh, A. (2018). Application of neural network technologies for diagnostics of the technical state of power plant turbo generators based on spectrograms of the 150 vibration measurements. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 13(7), 2549—2555.

Eltyshev, D. K. (2020) Electric equipment operation scenarios based on the results of non-destructive condition control. *Journal of Physics: Conference Series*. International Conference on Innovation Energy (IE 2020), 012010.

Eltyshev, D. K., & Boyarshinova, V. V. (2016). Intelligent Decision Support in the Electrical Equipment Diagnostics. Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM 2016) (pp. 157—160).

Eltyshev, D., & Gnutova, K. (2018). Influence of fuzzy clustering on the accuracy of electrical equipment diagnostic models, Proceedings of the 6th International Conference on Applied Innovations in IT (pp. 23—28).

Imoru, Odyn Ayo, Nelwamondo, Fulufhelo V., Jimoh, Adisa, & Ayodele, Temitope Raphael (2021). A neural network approach to detect winding faults in electrical machine. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 22(1), 31—41. doi: 10.1515/ijeeps-2020-0161.

Khal'yasmaa, A. I., Dmitriev, S. A., & Kokin S. E. (2016). An automated system for taking decisions to assess the actual state of electrical equipment. *Power Technology and Engineering*, 49(5), 389—392.

Kolodenkova, A. E., Khalikova, E. A., & Vereshchagina, S. S. (2020). Development of a diagnostic data fusion model of the electrical equipment at industrial enterprise, Proceedings of the Fourth International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI'19), part of the Advances in Intelligent Systems and Computing book series, AISC, vol. 1156 (pp. 499—506). Ostrava-Prague, Czech Republic.

Kolodenkova, A. E., Vereshchagina, S. S., & Muntyan, E. R. (2020). Development of an intelligent decision support system for electrical equipment diagnostics at industrial facilities, Proceedings of the Fourth International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI'19), part of the Advances in Intelligent Systems and Computing book series, AISC, vol. 1156 (pp. 225—233). Ostrava-Prague, Czech Republic.

Manusov, V., & Ahyoev, J. (2015). Technical diagnostics of electric equipment with the use of fuzzy logic models. *Applied Mechanics and Materials*, 792, 324—329.

Rakhmatov, D. N., & Vrudhula, S. B. K. (2001). An analytical high-level battery model for use in energy management of portable electronic systems, Proceedings of the 2001 IEEE/ACM international conference on Computer-aided design. San Jose, Ca, USA: IEEE. doi:10.1109/ICCAD.2001.968687.

Sarasketa-Zabala, E., Gandiaga, I., Martinez-Laserna, E., Rodriguez-Martinez, L. M., & Villarreal, I. (2015). Cycle ageing analysis of a LiFePO₄/graphite cell with dynamic model validations: Towards realistic lifetime predictions. *Journal of Power Sources*, 275, 573—587. doi:10.1016/j.jpowsour.2014.10.153.

Sarasketa-Zabala, E., Gandiaga, I., Rodriguez-Martinez, L. M., & Villarreal, I. (2014). Calendar ageing analysis of a LiFePO₄/graphite cell with dynamic model validations: Towards realistic lifetime predictions. *Journal of Power Sources*, 272, 45—57. doi:10.1016/j.jpowsour.2014.08.051.

Schmalstieg J., Käbitz S., Ecker M., & Sauer, D. U. (2014). A holistic aging model for Li(NiMnCo)O₂ based 18650 lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 257, 324—334. doi:10.1016/j.jpowsour.2014.02.012.

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF BOILED SAUSAGES USING PLANT AND MILK PROTEINS

O. Chernyushok, Yu. Biryuk

National University of Food Technologies

Key words:

Poultry meat

Whey

Oat flour

Sausage product

Biological value

Article history:

Received 05.01.2024

Received in revised form

19.01.2024

Accepted 09.02.2024

Corresponding author:

O. Chernyushok

E-mail:

chernyushokolga@ukr.net

Citation: O. A. Чернюшок, Ю. В. Бірюк (2024). Удосконалення технології варених ковбасних виробів з використанням рослинних і молочних білків. *Наукові праці НУХТ*, 30(1), 119—128.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-1-12

ABSTRACT

The subject of insufficient supply of the necessary amount of proteins to the human body is considered in the article. Improving the technology of meat products and increasing their quality remains an urgent problem, and the use of milk and vegetable proteins is the solution. They have high functional and technological characteristics, similar to meat raw materials and allow to partially replace them or enrich the product. This process is carried out to optimize the biological and nutritional value of the product, improve its structure, taste and aroma characteristics.

The article is devoted to the possibility of improving the classic technology of the cooked group of sausage products by partially replacing meat raw materials (semi-fatty pork with poultry meat) with the additional introduction of dry whey. In addition to dry whey, it is recommended to use oat flour. The use of additional components for further inclusion in recipes is substantiated.

Recipes for minced sausage products with different compositions are presented. The results of experimental studies of all samples and the influence of introduced components on the quality of finished products are given.

The tasting committee assessed the quality of finished products on a five-point scale. It was established that sample with a 1:1 ratio of dry milk whey and oat flour had the highest sensory results. If only one component is used, the product acquires a specific flavor inherent to this ingredient.

The research data obtained practically confirm the possibility of using dry whey and oat flour in cooked sausage products. It has been experimentally proven that adding dry milk whey and oat flour to minced meat improves not only sensory, but also physicochemical quality indicators. The obtained results showed that the introduced components in the recommended amount affect the structure of minced meat.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВАРЕНИХ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РОСЛИННИХ І МОЛОЧНИХ БІЛКІВ

О. А. Чернюшок, Ю. В. Бірюк

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто проблему недостатнього надходження до організму людини необхідної кількості білків. Покращення технології м'ясних виробів і підвищення їх якості залишається актуальним питанням, вирішення якого можливе шляхом використання молочних і рослинних білків. Вони мають високі функціонально-технологічні характеристики, подібні до м'ясної сировини та дають змогу частково її замінити або збагатити продукт. Процес проводять для оптимізації біологічної та харчової цінності продукту, покращення структури, смако-ароматичних характеристик.

Розглянуто можливість удосконалення класичної технології вареної групи ковбасних виробів шляхом часткової заміни м'ясної сировини (напівжирної свинини на м'ясо птиці) з додатковим внесенням сухої молочної сироватки. Окрім сухої сироватки молочної, пропонується використання вівсяного борошна. Обґрунтовано використання додаткових компонентів для подальшого включення до рецептур. Представлено рецептури фаршів ковбасних виробів з різним складом. Наведено результати експериментальних досліджень усіх зразків і впливу внесених компонентів на якість готових виробів.

Дегустаційною комісією проведено оцінку якості готових виробів за п'ятибальною шкалою. Встановлено, що найвищі результати за органолептичними показниками отримав зразок № 2 зі співвідношенням сухої молочної сироватки і вівсяного борошна 1:1. У разі використання лише одного компонента продукт набуває специфічного присмаку, притаманного цьому інгредієнту.

Отримані дослідні дані практично підтверджують можливість використання сухої молочної сироватки та вівсяного борошна у варених ковбасних виробках. Експериментально доведено, що в разі додавання в м'ясний фарш сухої молочної сироватки і вівсяного борошна поліпшуються не лише органолептичні, а й фізико-хімічні показники якості. Отримані результати показали, що внесені компоненти в рекомендованій кількості впливають на структуру фаршу.

Ключові слова: м'ясо птиці, молочна сироватка, вівсяне борошно, ковбасні вироби, біологічна цінність.

Постановка проблеми. Розвиток сучасних технологій ковбасного виробництва полягає в раціоналізації використання сировинних ресурсів і розширення асортименту ковбасних виробів на основі м'яса птиці — сировини, яка має найбільш ефективну схему репродуктивного відтворення в умовах глобалізації виробництва (Іванов, Пасічний, & Мороз, 2012).

Серед харчових продуктів важливу частину займають м'ясні вироби з емульсійною структурою. На думку вчених, до цих продуктів належать ковбаси (Серік, & Шурдук, 2018).

Ковбасні вироби — один з основних продуктів харчування, що споживає майже все населення України. Завдяки тому, що їх не потрібно готувати, а достатньо лише порізати, зростає попит, і відповідно, виробництво цього продукту. Перед виробниками ковбасних виробів стоїть важливе завдання — задовольнити бажання споживачів щодо якісної продукції, що змушує їх зосереджувати всі свої сили одночасно на стабілізації якості готової продукції та їх постійному вдосконаленні (Пожарчук, 2013).

На сьогодні актуальним є питання підвищення рівня білкового забезпечення в харчуванні, адже білок відповідає за нормальний розвиток і функціонування людського організму, є незамінним джерелом амінокислот (Чернюшок, & Бірюк, 2023; Lagrange, Whitsett, & Burris, 2015), виконує роль будівельного матеріалу в процесі розвитку клітин і обміну речовин в організмі.

Розробка м'ясних продуктів, які містять рослинні та молочні білки, забезпечує максимальне використання ресурсів, а також сприяє створенню рецептур і технологій одержання збалансованих продуктів харчування. Крім того, структурні особливості цих продуктів дають змогу використовувати різні добавки за умови їх органолептичної й технологічної спорідненості

Куряче м'ясо за комплексом технологічних, структурно-механічних показників і збалансованістю амінокислотного складу білків поступається традиційним видам м'яса. Тож одним із перспективних завдань технологічного спрямування є розроблення способів і технологій підвищення технологічності, поживної і біологічної цінності ковбас на основі м'яса птиці. Для вирішення цих завдань важливим залишається оцінка сумісності використання рослинних і тваринних наповнювачів у системах на основі курячого м'яса і визначення їх впливу на технологічні характеристики фаршів.

Дослідження можливості комбінування сухої молочної сироватки і вівсяного борошна в рецептурах ковбасних виробів (Камсуліна, Ільдірова, & Большакова, 2010) з використанням м'яса птиці виявили перспективність технологічного комбінування цієї сировини з позитивним ефектом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Продукція з м'яса птиці дуже популярна, тому що є одним з основних джерел білка для організму людини, і вироби з нього мають велике значення для здоров'я (Пасічний, 2008).

У (Вербельчук, Мишук, & Волков, 2020) обґрунтовано напрямки поліпшення поживних властивостей і якості ковбасних виробів для направленого регулювання функціонально-технологічних і структурно-механічних властивостей білковмісних систем.

У статті (Ощипок, 2015) розглянуто питання використання нових харчових добавок з рослинної сировини у ковбасному виробництві. Овес не містить трансжирів, холестерину, багатий на кальцій, фосфор, цинк та інші мінерали, які мають ефект профілактики остеопорозу, сприяючи загоєнню ран, а також запобігають анемії (Majid H. Alasadi, 2016).

У (Lapveteläinen та ін., 2006) розглянуто амінокислотний склад вівсяного борошна. У борошні вівсяному зосереджено багато легкозасвоюваних вуглеводів, крім того, воно сприяє утворенню в організмі серотоніну, який відповідає за гарний настрій. Борошно вівсяне відрізняється зниженим вмістом крохмалю та під-

вищеним вмістом жиру й рослинних харчових волокон. Велику цінність являє собою клітковина (2,75%). Розчинна клітковина запобігає коливанню рівня цукру в крові та чинить тонізуючу дію, а нерозчинна — відновлює мікрофлору кишечника. Завдяки наявності значної кількості клейких речовин вівсяне борошно має дієтичні властивості.

У статті (Jase та ін., 2021) описано доцільність внесення вівсяного борошна, яке збільшує вихід продукту. Включення рослинних білків у рецептуру м'ясних виробів зосереджено на покращення смакових характеристик. Встановлено, що внесення гідратованої суміші позитивно впливає на модельні фарші варених ковбас.

У (Чернюшок, & Бірюк, 2023) доведено використання білокрімістих функціональних композицій у виробництві варених ковбасних виробів, що дасть змогу забезпечити залучення у виробництво вторинної сировини молочного та рослинного походження шляхом заміни частини м'ясної сировини.

Для підвищення технологічних характеристик основної сировини та харчової збалансованості ковбас в Національному університеті харчових технологій проводились дослідження (Іванов, Пасічний, & Мороз, 2012) щодо можливості розширення використання молочної сироватки.

Молочний білок вдало використовують у виробництві варених ковбасних виробів, оскільки він створює желатиноподібну масу. Крім того, з'являється ефект збереження вологи та, як результат, збільшення виходу кінцевого продукту. Так, Естонським конструкторсько-технологічним бюро м'ясної та молочної промисловості було сформовано рецептуру виробництва м'ясного виробу з фаршу (Мусячук, 2008). Метою винаходу є поліпшення якості виробу та збільшення його кінцевого виходу. Як наслідок, отримують фарш із підвищеною вологозв'язуючою здатністю і стабільною консистенцією, а кінцевий виріб — з покращеними органолептичними показниками.

У дослідженнях (Chernyushok, & Biryuk, 2023) підтверджується перспективність використання м'яса птиці для розроблення ковбасних виробів з використанням вівсяного борошна та сухої молочної сироватки.

Метою дослідження є удосконалення технології варених ковбасних виробів із використанням композиційної суміші вівсяного борошна та сухої молочної сироватки шляхом вирішення питання недостатнього надходження білків до організму людини.

Матеріали і методи. Об'єкти дослідження — класична рецептура вареної ковбаси «Лікарська», що містить яловичину вищого сорту, свинину напівжирну, меланж яєчний, молоко сухе знежирене. Створені зразки відрізнялися вмістом сухої молочної сироватки та гідратованого вівсяного борошна (Жарінов, & Юрков, 2014), а також частина м'ясної сировини була замінена на м'ясо птиці.

Досліджено органолептичні, структурно-механічні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники (Баль-Прилипко, & Гармаш, 2012.), зокрема зовнішній вигляд, консистенція, запах, смак, соковитість, вміст вологи, вологоутримуючу та вологозв'язуючу здатність, значення pH (Usmael, Yesihak, & Abdulmuen, 2021).

Викладення основних результатів дослідження. У табл. 1 представлено рецептуру вареної ковбаси «Лікарська» (контрольний зразок) та зразки варених ковбас, які відрізнялися вмістом вівсяного борошна й сухої молочної сироватки.

Таблиця 1. Рецептури варених ковбас з використанням сухої молочної сироватки і вівсяного борошна

Складові компоненти фаршу	Рецептури			
	Контроль	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Основна сировина, кг на 100 кг несоленої сировини				
Яловичина знежирована в/с	25	25	25	25
Свинина знежирована напівжирна	70	—	—	—
Біле м'ясо птиці	—	68	68	68
Молоко коров'яче сухе незбиране	2	—	—	—
Суша молочно сироватка	—	4	2	—
Вівсяне борошно	—	—	2	4
Яйця або меланж	3	3	3	3
Всього	100,0	100,0	100,0	100,0
Допоміжна сировина, кг на 100 кг несоленої сировини				
Сіль кухонна	2	2	2	2
Цукор	0,1	0,1	0,1	0,1
Нітрит натрію	0,005	0,005	0,005	0,005
Перець чорний	0,1	0,1	0,1	0,1
Горіх мускатний	0,05	0,05	0,05	0,05
Вода холодна	20—25	28	28	28

Свинина є ідеальним джерелом повноцінного тваринного білка і таких важливих мінеральних речовин, як залізо, фосфор і калій. Яловичина містить цілий комплекс вітамінів групи В, а також ряд мікро- і мікроелементів. М'ясо птиці вважається дієтичним продуктом і є ефективною заміною основної сировини з метою зменшення калорійності продукту. Біле м'ясо птиці є відмінним джерелом білка і амінокислот. До його складу входить глютамінова кислота, ефірні масла та азотомісні речовини.

Аналізуючи (Зубар, Руль, & Булгакова, 2013) харчову цінність м'яса різних видів птиці, можна зробити висновок, що найкращу має біле м'ясо птиці — куряча грудка, тому було здійснено заміну свинини знежированої напівжирної на дієтичне м'ясо птиці.

Виготовлення зразків проводили згідно з технологією приготування фаршу варених ковбас. У модельних зразках м'ясомістких варених ковбас досліджували органолептичні показники, харчову цінність готового продукту, визначали функціонально-технологічні показники модельних фаршів і готової продукції.

Результати органолептичної оцінки ковбас представлено на рис. 1. Дані рисунка свідчать про те, що всі зразки ковбас відповідають вимогам стандарту за органолептичними показниками. Слід відмітити, що всі зразки досліджуваних варених ковбас отримали вищі оцінки порівняно з контрольним зразком. Дослідні зразки характеризувались приємним запахом, мали гарні смакові властивості та пружну консистенцію. Високу органолептичну оцінку отримали всі показники якості варених ковбас із м'ясом птиці, проте найвищу оцінку отримав зразок 2, кількість балів загальної оцінки яких становила 4,3.

Зразки № 1 та № 3 за консистенцією поступаються контрольному зразку та зразку № 2. Найменшу кількість балів отримав зразок № 3. Це вказує на те, що при

використанні борошна вівсяного у чистому вигляді, без сухої демінералізованої молочної сироватки знижуються органолептичні показники готового продукту. Виріб має сухішу консистенцію та набуває специфічного присмаку.

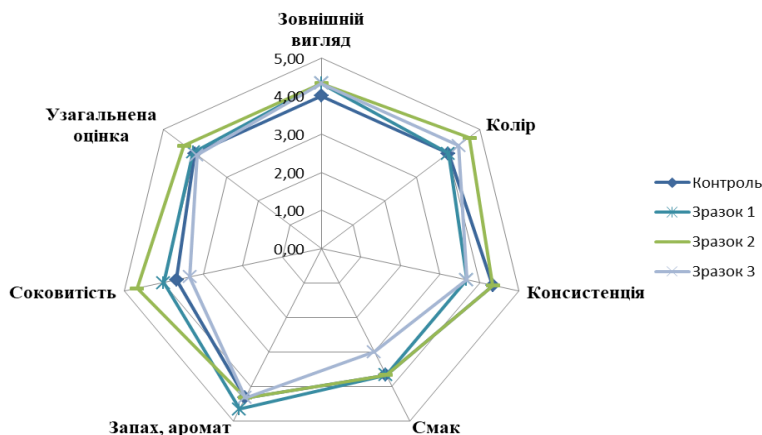


Рис. 1. Профілограма органолептичної оцінки розроблених зразків

Найкращим на думку дегустаторів виявився зразок № 2 — співвідношення сухої сироватки молочної та вівсяного борошна становить 1:1. Готовий продукт характеризується ніжною консистенцією та покращеним зовнішнім виглядом і смаковими характеристиками. Результати визначення харчової й енергетичної цінності отриманого продукту представлено в табл. 2.

Таблиця 2. Харчова та енергетична цінність вареної ковбаси

Назва показника	Контроль	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Вміст білка, г/100 г	12,40	14,30	15,60	14,00
Вміст жиру, г/100 г	22,20	19,80	18,65	20,30
Енергетична цінність, кКал	249,4	235,4	230,25	238,7

Результати досліджень контрольного та дослідних зразків показали, що вміст білка в усіх зразках коливається на рівні 12,40—15,60 г/100 г харчового продукту. Вміст жиру в контрольному зразку становив 22,2 г/100 г продукту, що вище порівняно з дослідними зразками. У дослідних зразках вареної ковбаси цей показник коливався в межах 18,65—20,3 г/100 г.

Енергетична цінність кожного зразка визначається шляхом множення кількості засвоюваних білків і жирів на відповідні коефіцієнти енергетичної цінності (для білків — 4 ккал/г; для жирів — 9 ккал/г; для вуглеводів — 3,8 ккал/г). Енергетична цінність (ЕЦ) розраховується за формулою:

$$ЕЦ = Б \cdot 4 + Ж \cdot 9 + В \cdot 3,8, \quad (1)$$

де Б — вміст білка в 100 г продукту; Ж — вміст жиру в 100 г продукту; В — вміст вуглеводів в 100 г продукту.

$$ЕЦ_{\text{контр.}} = 12,4 \cdot 4 + 22,2 \cdot 9 = 249,4 \text{ кКал};$$

$$ЕЦ_{\text{зр.1}} = 14,3 \cdot 4 + 19,8 \cdot 9 = 235,4 \text{ кКал};$$

$$ЕЦ_{зр,2} = 15,6 \cdot 4 + 18,65 \cdot 9 = 230,25 \text{ кКал};$$

$$ЕЦ_{зр,3} = 14,0 \cdot 4 + 20,3 \cdot 9 = 238,7 \text{ кКал}.$$

Зменшення вмісту жиру у варених ковбасах із частковою заміною на м'ясо птиці призвело до зниження енергетичної цінності продукту. Так, у дослідних зразках кількість енергії в 100 г ковбаси становила 230,25—238,7 кКал, що пов'язано зі співвідношенням сухої молочної сироватки і вівсяного борошна. Енергетична цінність контрольного зразка дорівнювала 249,4 ккал у 100 г продукту.

Функціонально-технологічні властивості м'ясних продуктів — це сукупність показників, які характеризують рівень емульгуючої, вологозв'язуючої, жиротримуючої здатності, що обумовлюють структурно-механічні властивості (пластичність, в'язкість, граничне напруження зсуву, адгезію тощо), органолептичні властивості (колір, запах, смак) і вихід готового продукту.

Результати оцінки функціонально-технологічних властивостей модельних зразків наведено у табл. 3.

Таблиця 3. Функціонально-технологічні показники досліджуваних модельних фаршів

Назва показника	Контроль	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Вміст води, %	73,4±0,73	74,3±0,74	74,5±0,74	74,2±0,74
ВЗЗ, %	70,5±0,70	71,8±0,71	72,45±0,72	71,7±0,71
ВУЗ, %	69,3±0,69	70,5±0,70	70,65±0,70	70,4±0,70

Вміст води в контрольному зразку становив 73,4±0,73 %, у рецептурі № 1 цей показник підвищився на 1,1%, для рецептури № 2 — на 1,2 %, у рецептурі № 3 — на 0,8% порівняно з контрольним зразком.

Отримані дані свідчать про стабілізацію показників дослідних фаршів, оскільки вологозв'язувальна здатність модельних фаршів дослідних рецептур знаходиться на рівні 71,7—72,4%, що на 1,2—1,9% вище порівняно з контролем. Найбільше значення ВЗЗ виявилось у фарші вареної ковбаси, виготовленої за другою рецептурою, і становило 72,45±0,72, %. Це обумовлюється раціональним співвідношенням у розроблених рецептурах ковбас сухої молочної сироватки і вівсяного борошна, які відрізняються високим вмістом білкових речовин, здатних зв'язувати й утримувати воду.

Представлені результати свідчать, що рецептура модельного фаршу зразка № 2 має найкращі функціонально-технологічні показники, порівняно з іншими дослідними зразками. Аналіз результатів підтверджує, що поєднання у рецептурах ковбасних виробів сухої молочної сироватки і вівсяного борошна покращує показники ВЗЗ, ВУЗ у модельних фаршах.

Як видно з табл. 4, вміст води в готових ковбасних виробках коливається в межах 63,47—63,75%, що відповідає стандартним вимогам для групи варених ковбасних виробів. Водночас масова частка води дослідних ковбас була вищою порівняно з контролем на 0,28%. Збільшення масової частки води в дослідних зразках стало причиною покращення їх консистенції, соковитості, смаку й аромату.

Використання більш дієтичного м'яса та додаткове внесення сухої молочної сироватки і вівсяного борошна вплинуло на кількість білка в готовому виробі.

Порівняно з контрольним зразком, який містив 12,4% білка, у модельних зразках масова частка коливається у межах 14,0—15,6%.

Таблиця 4. Фізико-хімічні показники в готовому продукті

Назва показника	Контроль	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Масова частка білка, %	12,4	14,3	15,6	14,0
Масова частка жиру, %	22,2	19,8	18,65	20,3
Масова частка води, %	63,27±2,1	63,75±1,9	63,61±1,8	63,56±1,95
Масова частка нітриту натрію, %	0,003	0,003	0,003	0,003
Масова частка кухонної солі, %	2,13	2,15	2,14	2,14
Вихід готового продукту, %	93,25	97,5	97,53	97,48
pH	6,70 ± 0,02	6,65± 0,02	6,68± 0,03	6,75± 0,02

Одним з важливих показників якості готової продукції є параметри її мікробіологічних показників. Присутність у зразках патогенних мікроорганізмів, включаючи бактерії роду *Salmonella*, бактерій групи кишкових паличок (коліформи), сульфитредукуючих клостридій не допускається.

Дослідження мікробіологічних показників розроблених ковбасних виробів проводилось для визначення впливу дії термічної обробки на подовження впливу терміну реалізації готових ковбасних виробів. Для аналізу було досліджено проби контрольної та зразка № 2, що у своєму складі містить суміш з сухої молочної сироватки та вівсяного борошна. Для цього відбиралися проби ковбас у день приготування, на 3, 5 і 7 день зберігання. Проби зберігалися при температурі 0—4 °С та відносній вологості повітря — 85%. Аналіз проводився не пізніше 4 год із моменту відбору проб.

Результати досліджень представлені в табл. 5.

Таблиця 5. Параметри мікробіологічних показників досліджуваних зразків

№ п/п	Назва показника	Норма	Дослідні зразки	
			Контроль	№ 2
1.	Кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів (МАФАМ), КУО, в 1 г продукту, не більше ніж	1,0·10 ³	1,0·10 ²	1,0·10 ²

Результати досліджень мікробіологічних показників розроблених зразків варених ковбасних виробів відповідають вимогам нормативних документів, зокрема ДСТУ 4436:2005 «Ковбаси варені, сосиски, сардельки, хлібці м'ясні. Загальні технічні умови».

Бактерії групи кишкових паличок та бактерій роду *Salmonella* у зразках не виявлені, кількість МАФАМ знаходиться в межах допустимої норми і становить 1·10² для дослідного зразка.

Висновки

На основі проведених аналітичних та експериментальних досліджень удосконалено рецептуру варених ковбасних виробів за рахунок часткової заміни напівжирної м'ясної сировини на дієтичне м'ясо птиці та введення в рецептуру сухої молочної сироватки й вівсяного борошна у представлених співвідношеннях. Завдяки внесеним компонентам можна отримати виріб з покращеними органолептичними та фізико-хімічними показниками. Використання м'яса птиці та сухої молочної сироватки з вівсяним борошном компонента фаршу дало змогу підвищити вміст білка 1,6—3,2% порівняно з контрольним зразком, дещо знизився вміст жиру. Встановлено, що внесення інгредієнтів рослинного та молочного походження здатне збільшити вихід готової продукції на 4,28%.

Перспективами подальших наукових досліджень є визначення впливу на медико-біологічні показники організму після вживання продукту, який у своєму складі включатиме суху молочну сироватку і вівсяне борошно.

Література

Баль-Прилико, Л., Гармаш, О. (2012). Інноваційні технологічні рішення при виробництві варених ковбас. *Продовольча індустрія АПК*, 3, 13—38.

Вербельчук, Т., Мишук, Р., Волков, В. (2020). Напрямки поліпшення поживних властивостей і якості варених ковбасних виробів. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва: наук.-теор. зб.* 13, 210—214.

Жарінов, О., Юрков, С. (2014). Техніко-технологічні аспекти приготування м'ясних емульсій. *М'ясна індустрія*, 1, 31—34.

Зубар, Н., Руль, Ю., & Булгакова, М. (2013). *Фізіологія харчування*. Київ: Центр учбової літератури.

Іванов, С., Пасічний, В., Мороз, О. (2012). *Дослідження впливу рецептурного комбінування сухої молочної сироватки і зародків пшениці на біологічну цінність і гістологічні характеристики м'ясних систем*. Міжнародна науково-технічна конференція. Київ: Наука.

Камсуліна, Н., Льдірова, С., Большакова, В. (2010). Альтернативні джерела білка в технологіях ковбасних виробів. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*, 2(12), 336—344.

Мусійчук, О. (2008). Перспективи використання продуктів молочної сироватки. *Товари і ринки*, 1, 78—83.

Ощипок, І. (2015). Використання нових харчових добавок з рослинної сировини у харчовій промисловості. *Вісник Львівської комерційної академії*, 15, 77—81.

Пасічний, В. (2008). Технологічні перспективи використання м'яса птиці в м'ясопереробній промисловості. Додаток до журналу *Фермер «Птахівництво»*, 50—51.

Пожарчук, Ю. (2013). Сировинна база як фактор забезпечення конкурентоспроможності м'ясопереробних підприємств України. *Економіка харчової промисловості*, 1(17), 32—34.

Серік, М., Шурдук, І. (2018). *Удосконалення технології та якості м'ясних емульсійних виробів, збагачених кальцієм*. Монографія. Харків: ХДУХТ.

Чернюшок, О., Бірюк, Ю. (2023). *Використання продуктів збагачення у технології ковбасних виробів*. Матеріали 89 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Київ: Наука.

Majid H. Alasadi (2016). The Effect of Using Different Ratio from Oat Flour in Processed Sausage Fresh and Frozen from Local Goose Meat. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*, 29(1): 111—118. <https://doi.org/10.33762/bags.2016.116174>.

Chernyushok, O., Biryuk, Yu. (2023). *Variety of raw materials in the production of sausage products*. 89 International scientific conference of young scientist and students. Kyiv: Science.

Jase, J., Ross, P., Madison, M., Barry, D., & Jason, T. (2021). Meat Substitution with Oat Protein Can Improve Ground Beef Patty Characteristics. *Foods*, 10(12): 3071. <https://doi.org/10.3390/foods10123071>.

Lapveteläinen, A., Puolanne, E., Salovaara, H. (2006). High-Protein Oat Flour Functionality Assessment in Bread and Sausage. *Journal of food science*, 59(5): 1081—1085, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb08195.x>.

Lagrange, V., Whitsett, D., Burris, C. (2015). Global market for dairy proteins. *Journal of food science*, 80, A16—A22, <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12801>.

Usmael, M., Yesihak, Yu., Abdulmuen, M. (2021). Quality of Cattle Meat and Its Compositional Constituents. *Veterinary Medicine International*, vol. 2021, 1—9. <https://doi.org/10.1155/2021/7340495>.

STUDY OF THE AROMATIC COMPLEX AND SENSORY CHARACTERISTICS OF AGED BEER DISTILLATES**M. Bilko, A. Petrovskiy***National University of Food Technologies***Key words:***Beer distillate**Aging**Aroma**Taste**Profile**Descriptors***Article history:**

Received 11.01.2024

Received in revised form
26.01.2024

Accepted 07.02.2024

Corresponding author:

M. Bilko

E-mail:

aromat@ukr.net

Citation: М. В. Білько, А. М. Петровський (2024). Дослідження ароматичного комплексу та органолептичних характеристик витриманих пивних дистилатів. *Наукові праці НУХТ*, 30(1), 129—140.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-1-13

ABSTRACT

The relevance of the production of beer distillates in Ukraine which contributes to the optimization of breweries' production process and allows to eliminate unnecessary losses at the enterprise while storing and selling the beer is considered in the article.

The research is focused on determining the specifics of the aromatic profile of beer distillates, the main classes of substances and their representatives that form the aroma of beer distillate. The influence of previously used oak barrels on the change in aroma and taste of distillates that was established.

The materials of the research were beer distillates made from light beer by double distillation. The first distillation was carried out in direct current, the second one was performed on a column with four plates using a dephlegmator. Prepared softened water was added to the distillates to a strength of 45% by volume and they were keeping for 9 to 16 months in different oak barrels, i.e. new one, a barrel after aging honey wine, as well as the barrels after aging rye and corn whiskey. In the study they used a rating scale from 0 to 5 according to following descriptors: hoppy, malty, coniferous, green apple, honey, green grass, bread, straw, vanilla, wood, cocoa butter (for aroma), and burning, softness, sweetness, astringency, duration of aftertaste, harmony and typicality (for taste).

It was established that beer distillates have typical malt-beer notes with fruity-floral undertones and a long, warm aftertaste. The aroma of hops, tones of pine, green apple and honey were felt with equal intensity. Storing beer distillate in a glass container for a year does not contribute to the assimilation of alcohol and the disappearance of gray tones.

When distillates are aged in barrels, due to the extraction of phenolic substances, polysaccharides and other substances from oak wood, its oxidation and transformation, the distillate acquires tones of aging, pleasant astringent shades and harmony. The use of barrels after aging honey wine, rye and corn whiskey gives beer distillates shades of previous drinks, enriching the bouquet, and typical beer notes reduce its intensity.

ДОСЛІДЖЕННЯ АРОМАТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ТА ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИТРИМАНИХ ПИВНИХ ДИСТИЛЯТІВ

М. В. Білько, А. М. Петровський

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто актуальність виробництва пивних дистилятів в Україні, яке сприяє оптимізації роботи пивоварень, дає змогу позбутися зайвих витрат на підприємстві, в процесі зберігання та реалізації пива.

Визначено особливості ароматичного профілю пивних дистилятів, встановлено основні класи речовин та їх представники, які формують аромат пивного дистиляту, доведено вплив дубових бочок, які були у використанні, на зміну аромату та смаку дистилятів.

Матеріалами досліджень були пивні дистиляти, виготовлені з пива світлих сортів шляхом подвійної дистиляції. Першу дистиляцію здійснювали прямою, другу — на колоні з чотирма тарілками з використанням дефлегматора. В дистилят додавали підготовлену пом'якшену воду до міцності 45% об. та витримували протягом 9...16 місяців в різних бочках — новій, після витримки медового вина, віскі житнього та кукурудзяного. Для створення ароматичних і смакових профілів застосували описовий метод. У дослідженні використовувалась шкала оцінювання від 0 до 5 за дескрипторами: хмелевий, солодовий, хвойний, зелене яблуко, мед, зелена трава, хліб, солома, ваніль, дерево — для аромату, та пекучість, м'якість, солодкість, терпкість, тривалість післясмаку, гармонійність і типовість — для смакових характеристик.

Встановлено, що пивним дистилятам притаманні типові солодово-пивні ноти з фруктовো-квітковими відтінками та довгий теплий післясмак. З однаковою інтенсивністю відчувався хмелевий аромат, тони хвої, зеленого яблука та меду. Зберігання пивного дистиляту у скляній тарі протягом року не сприяє асиміляції спирту та зникненню сивушиних тонів.

У разі витримки дистилятів у бочках внаслідок екстрагування фенольних речовин, полісахаридів та інших речовин дубової деревини, їх окиснення й трансформації дистилят набуває тонів витримки, приємних терпкуватих відтінків і гармонійності. Використання бочок після витримки в них медового вина, віскі житнього та кукурудзяного надають пивним дистилятам відтінків попередніх напоїв, збагачують букет, а типові пивні ноти зменшують свою інтенсивність.

Ключові слова: пивний дистилят, витримка, аромат, смак, профілограма, дескриптори.

Постановка проблеми. Виробництво напоїв на основі пивних дистилятів тільки зароджується в Україні, сприятиме цьому цікавість споживачів до локальних міцних напоїв і розвиток виробництва крафтового руху. Для виробників пива це можливість переробити нереалізований напій або пиво, яке мало незначні недоліки та підлягало утилізації (Diguir, Laya, Wangso, Bayang, & Koubala, 2021).

Водночас сировина для дистиляції, витримка в бочках після різних напоїв, використання альтернативної витримки, способів дистиляції тощо дає пивоварам і дистиляторам простір для експериментів. Різноманіття технологічних прийомів під час виробництва дистилятів сприяє отриманню напоїв з широким діапазоном сенсорних характеристик, які й будуть визначати конкурентоспроможність.

Напої на основі пивних дистилятів можуть вироблятися без процесу витримки, але таким напоям потрібен час для асиміляції спирту, гармонізації смаку та формування букета. Завдяки контакту з деревиною дубу напої набувають характерного кольору та збагачуються новими дескрипторами в ароматичному профілі, надаючи йому низку переваг і розширюючи асортимент міцних напоїв.

За даними дослідників, 50...80% аромату в дистилят привносять компоненти дубу під час витримки, іноді кардинально змінюючи його (Gollihue та ін., 2018).

Особливий інтерес становлять дослідження з вивчення органолептичних характеристик пивних дистилятів і впливу процесу витримки в дубових бочках на зміну їх сенсорного профілю. Дослідження з вивчення сенсорних характеристик витриманих пивних дистилятів допоможуть вирішити питання виробників нерелізованого пива та покажуть можливості розширення асортименту виробників міцних напоїв на основі пивних дистилятів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пивний дистилят — це пивний спиртний напій, вироблений виключно шляхом прямої дистиляції за нормального тиску свіжого пива з міцністю спирту за об'ємом менше 86%, що визначено постановою Європейського парламенту і Ради ЄС 2019/787 від 17 квітня 2019 року (Регламент Європейського парламенту та Ради ЄС).

Напої на основі пивних дистилятів виробляють майже в усіх країнах, де пиво широко розповсюджене — Німеччина, Чехія, Велика Британія, Бельгія, Австрія та набувають своєї популярності в США та Японії. Пивний дистилят — це нетиповий вид алкогольного напою, який характеризується специфічним ароматом хмелю та присмаком солодкуватого солоду, але такі напої є затребуваними серед шанувальників міцного алкоголю з незвичайними смаками.

У Європі подібні напої об'єднані під загальною назвою «bierbrand», «bierschnaps» або «eau de vie de bière», для яких розроблені відповідні регламенти, що визначають вимоги до міцності напою, сировини та методу дистиляції (Vecseri-Hegyes, Farkas, Utassy, & Panyik, 2005; Alvarez et al., 2021).

У нещодавно прийнятому Законі України про географічні зазначення надається визначення пивному спиртному напою, в якому зазначається, що пивний дистилят відноситься до спиртних напоїв міцністю від 38% об., вироблений із спиртового дистиляту, одержаного шляхом прямої дистиляції за нормального тиску свіжого пива до міцності не більше 86% об., при цьому дистилят повинен мати органолептичні характеристики, похідні від пива. В наукових працях відмічається, що пивний дистилят — це продукт з багатогранними органолептичними характеристиками, що зберігає смакоароматичні характеристики пива (Vecseri-Hegyes, Farkas, Utassy, & Panyik, 2005; Thiel, 2017).

Часто напої на основі пивних дистилятів виготовляють без витримки, але їм потрібний час для асиміляції спирту та збалансування аромату й смаку.

Бочкова витримка прискорює ці процеси, сприяє гармонізації напою, набуттю м'якості та збагачує додатковими ароматами й смаками (Awad, Athès, Esteban-Decloux, Snakkers, & Giampaoli, 2016).

Часто для витримки використовуються дубові бочки з-під бурбону, рому або після вин — хересу, мадери, портвейну, що надає дистилляту свої смакові й ароматичні відбитки, які не можуть бути досягнуті іншим способом.

У технологіях деяких напоїв, наприклад віскі, експериментують зі змішаною витримкою — спочатку витримують у двох різних бочках, а потім купажують або використовують послідовну витримку дистилляту в різних бочках.

У технології пивного дистилляту є багато спільного з виробництвом американського бурбону, шотландського або канадського віскі, але технологія має і свої відмінності, які обумовлені наявністю хмелю, солодами різних типів, специфічними расами дріжджів, конструкціями й експлуатацією перегінного куба, вибором бочок і тривалістю витримки. Ці фактори мають суттєвий вплив на формування органолептичних характеристик дистилатів.

Аромат і смак дистилатів формують понад 2000 речовин (Waymark, & Hill, 2021). Американський бурбон найбільш збагачений легкими речовинами, концентрація яких сягає понад 5 г/дм³ на абсолютний алкоголь, в скотчі — близько 5 г/дм³, в канадському віскі — близько 1 г/дм³.

Формування ароматичного профілю напою починається із сировини, потім доповнюється ароматами, що утворюються на різних стадіях технологічного процесу під час фізичних і біохімічних процесів виробництва пива (Olaniran, 2017), далі під час перегонки, та завершується на стадії витримки дистилляту при контакті з деревиною бочки (Waymark, & Hill, 2021) у разі, якщо ця операція передбачається.

Основні класи сполук, які були ідентифіковані в дистилатах, включають вищі спирти, естери C₆—C₁₀ та з довшим вуглецевим ланцюгом, кислоти, фурфурол, монотерпіноли, C₁₃-норізопріноїди, а в разі витриманих дистилатів — феноли, продукти розкладання лігніну та лактони (Holt, Miks, de Carvalho, Foulquié-Moreno, & Thevelein, 2019).

Терпенові спирти, альдегіди, феноли та естери, що містить хміль, обумовлюють трав'янисті, квіткові, хвойні та навіть цитрусові тони (Гринюк, 2015; Kishimoto, Wanikawa, Kono, & Shibata, 2006).

Дріжджі під час спиртового бродіння ферментують вторинні метаболіти, які виробляються в малих концентраціях і відповідають за складні аромати, притаманні напоям бродіння. Це вищі спирти, складні естери ацетату та етилові естери жирних кислот, ацетальдегід, діацетил тощо (Olaniran, Hiralal, Mokoena, & Pillay, 2017).

Під час дозрівання відбувається низка фізико-хімічних взаємодій між бочкою та дистилатом під дією кисню, що доповнює та збагачує склад, букет і смак напою. З'являються ароматичні альдегіди, феноли (Dzialo, Park, Steensels, Lievens, & Verstrepen, 2017), фурани, нові естери, збільшується вміст меланоїдинів, фурфуролу (Piggott, 2016) та лактонів (Wanikawa, Yamamoto, & Hosoi, 2004; MacNanaga, van Wyk, Augustyn, & Rapp, 2001). Дистилати збагачуються бісквітними, ванільними, шоколадними, марципановими нотами, що сприяє створенню напоїв з оригінальними смаками. Першорядне значення в цьому є тривалість витримки,

внутрішнє обпалення та попереднє використання бочки, наприклад, після витримки вин, пива або міцного алкоголю.

Дослідження, спрямовані на вивчення органолептичного профілю молодих пивних дистилятів та його зміну й формування після витримки в бочках з різними характеристиками, забезпечать створення нових алкогольних напоїв.

Мета дослідження: встановлення якісного складу ароматичного комплексу пивних дистилятів та визначення їх основних органолептичних характеристик і сенсорного профілю після витримки у бочках, які були у використанні.

Для реалізації поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

- встановити класи речовин, які беруть участь у формуванні аромату пивних дистилятів, визначити їх основні дескриптори;
- дослідити органолептичні характеристики пива, пивних дистилятів шляхом сенсорного аналізу та їх особливості;
- встановити вплив бочкової витримки на зміну органолептичного профілю пивного дистиляту залежно від попереднього використання бочки.

Матеріали і методи. Матеріалами досліджень були пиво світлого сорту низового бродиння, вироблене із застосування рас дріжджів *Saccharomyces carlsbergensis*; пивні дистиляти, виготовлені з нього шляхом подвійної дистиляції, перша була прямоочною, друга — на колоні з 4 тарілками з використанням дефлегматора, а також пивні дистиляти після витримки у бочках. Температура дистиляції була в межах 100 °С. Перегонку проводили в потоці до міцності дистиляту близько 10% об. Міцність спирту-сирцю становила 25...30% об., дистиляту — 85% об. Тривалість перегонки складала більше 9 год: 2 год на отримання головної фракції, 7 год — на основну середню фракцію, що й було пивним дистилятом. Надалі дистилят розбавляли підготовленою пом'якшеною водою до міцності 62% об. та заливали в чотири різних бочки обсягом 5 дал: нову, після витримки медового вина, житнього та кукурудзяного віскі. Витримка тривала 12 місяців у сухому приміщенні за температури не більше 20 °С та вологості повітря 65...75%. Контрольним зразком був дистилят, який зберігали протягом року у скляній тарі.

Об'ємну частку спирту в пиві визначали після перегонки ареометричним методом, а в спирті-сирці та дистилятах до і після витримки безпосередньо ареометром.

Якісний склад і кількісний вміст ароматичного комплексу пивного дистиляту визначали газохроматографічним методом (хроматограф Agilent Technology 6890) з полум'яно-іонізаційним детектором, капілярною кварцовою колонкою ДВ-5 довжиною 60 м, діаметром 0,33 мм. Витрати газу-носія азоту складали 3 см³/хв. Температура випаровувача і детектора — 230 °С. Температура термостата — 70...190 °С зі швидкістю зміни 4°/хв. Об'єм проби — 1 мкм. Бібліотека мас-спектрів NISTO 2.

У сенсорному аналізі зразків пивних дистилятів брала участь дегустаційна комісія у кількості 11 експертів згідно з міжнародними вимогами (ДСТУ ISO 8586:2019 Дослідження сенсорне). У дегустаційну комісію увійшли учасники, які були перевірені на здатність розрізняти, описувати та чітко передавати будь-які сенсорні дескриптори, виявлені в пиві та дистиляті, індивідуально та під час групового обговорення.

Для створення ароматичних і смакових профілів застосували описовий метод. Шкала оцінювання була від 0 (не відчувається) до 5 (інтенсивне відчуття) за дескрипторами: хмельовий, солодовий, хвойний, зелене яблуко, мед, зелена трава, хліб, солома, ваніль, дерево — для аромату, та пекучість, м'якість, солодкість, терпкість, тривалість післясмаку, гармонійність і типовість — для смакових характеристик.

Обробку результатів здійснювали, застосовуючи статистичні методи аналізу, розраховували стандартне відхилення для кожного одиничного показника, якщо оцінка окремого дегустатора відрізнялася від середнього бала на величину, що вдвічі перевищує значення стандартного відхилення, її не враховували. Дані фізико-хімічного аналізу дистилятів виражені як середнє значення, отримані в трьох повторностях. Результати вважалися значущими за $p < 0,05$.

Викладення основних результатів дослідження. У табл. 1 приведені об'єми та значення об'ємної частки спирту в ланцюзі виготовлення витриманих пивних дистилятів. Після витримки в усіх варіантах дистиляту було відмічено зменшення їх обсягів та спиртуозності, що пов'язано з частковим змочуванням деревини бочки та випаровуванням.

Таблиця 1. Об'ємні частки спирту сировини та напівпродуктів, їх обсяги в системі «пиво → витриманий пивний дистилят» ($n=3$, $p \leq 0,05$)

Назва показника	Пиво світле	Спирт-сирець, перша перегонка	Дистилят						
			молодий, друга перегонка	РД	після витримки				РП
					*1	2	3	4	
Об'ємна частка спирту, %	4,5±0,1	27±0,3	85±0,9	62±0,6	57±0,6	59±0,6	60±0,6	59±0,6	45±0,5
Обсяг, дал	300,0	47,7	15,3	20,8	4,8	4,9	5,0	4,9	-

Примітка. Варіанти бочок: *1 — нова; 2 — після медового вина; 3 — після кукурудзяного віскі; 4 — після житнього віскі; РД — розведений до витримки підготовленою водою; РП — розведений після витримки підготовленою водою.

Результати дослідження ароматичного комплексу пивного дистиляту до витримки методом газової хроматографії дали змогу виявити кількісний вміст та якісний склад його летких компонентів (табл. 2).

Таблиця 2. Леткі компоненти пивного дистиляту ($n=3$, $p \leq 0,05$)

Назва компонентів	Вміст, мг/дм ³	*Порогова концентрація, мг/дм ³	**Аромат компонента
<i>Терпенові речовини:</i>			
ліналоол	0,81±0,04	0,006	квітковий
гераніол	0,49±0,03	0,05	троянда
лімонен	0,57±0,03	0,01	хвоя, цитрусові
пінен	0,41±0,02	0,14	хвоя
мірцен	0,52±0,03	0,4	хвоя, пряний, трав'янистий

<i>Вищі спирти:</i>			
1-пропанол	129,85±6,5	100-500	спиртовий, розчинник
2-бутанол	0,28±0,01	2,9·10 ⁻³	спиртовий, розчинник
ізобутанол	201,05±10,0	100-200	розчинник, трав'янистий, солодовий, віскі, горілий
ізоамілол	829,56±41,5	3,0-100	розчинник, трав'янистий, солодовий, віскі, горілий
<i>Карбонільні сполуки:</i>			
ацетальдегід	106,12±5,3	50-100	зелене яблуко
ізобутіральдегід	6,08±0,3	-	солодкий, фруктовий
β-фенілетиловий спирт	18,21±0,91	5,0	троянда, мед, солодкий
<i>Складні естери:</i>			
етилацетат	242,11±12,1	1,0	фруктовий, солодкуватий, розчинник
ізоамілацетат	24,56±1,23	6·10 ⁻⁷	фруктовий, груша
етилформіат	0,52±0,03	0,1	фруктовий, малина, солодкий
етиллактат	1,38±0,07	150-200	фруктовий, ананас, апельсин, яблуко

Примітка. *Токар А.Ю. та ін., 2022; Білько М.В., 2012; Van Opstaele F. et al., 2012.
 **Olaniran, Hiralal, Mokoena & Pillay, 2017; Ткаченко О.Б., Тринкаль О.В., 2012; Francis I. L. & Newton J. L., 2005.

З даних табл. 2 видно, що аромат дистиляту обумовлено терпеновими спиртами, які перейшли з хмелю, і мають квіткові та хвойні нотки в ароматі; вищими спиртами, естерами та іншими карбонільними сполуками, які переважно синтезувалися під час бродіння. Слід зауважити, що виявлені сполуки знаходяться в концентраціях вищих за порогову, та, у свою чергу, будуть впливати на аромат пивного дистиляту. Так, ізоаміловий та ізобутиловий спирти мають виражені сивушні тони, складні естери характеризуються ароматами фруктів, ацетальдегід – надає тон зеленого яблука, фенілетиловий спирт має аромат меду, фурфурол – скоринки житнього хліба.

Отримані дані були взяті за основу при виборі основних дескрипторів для аналізування аромату пивних дистилятів.

Встановлено, що ароматичний профіль пивного дистиляту зберігає аромат, притаманний світлому пиву, але пивний, хмелевий і солодовий тони у 2...2,5 рази зменшували свою інтенсивність (рис. 1). Водночас органолептика дистиляту стала багатша, оскільки в результаті процесу перегонки ароматичні речовини пива концентруються та, разом з новими речовинами, що утворюються внаслідок цього процесу, формують новий, складніший аромат. Дистилят збагатився яблучно-медовою нотою з хвойними відтінками. Слід відмітити, що також була відчутна характерна молодому дистиляту спиртуозність завдяки етанолу – головному компоненту дистиляту.

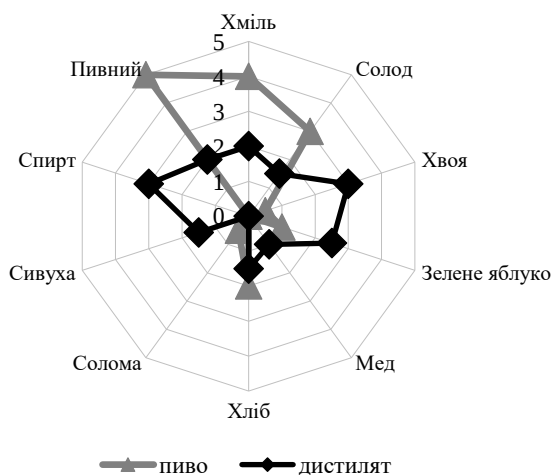


Рис. 1. Профілограма аромату пива та пивного дистилляту

У дистилляті з'явилась відчутна сивушна нота, зумовлена вищими спиртами, що синтезувались під час бродіння. Навіть при річній витримці дистилляту в скляній тарі не відбулося достатньої асиміляції етилового спирту та вищих спиртів, що відобразилось у дегустаційній характеристиці дистилляту — відчуття спирту залишилось на рівні 3 балів із 5, сивушного тону — 1,5 бала.

Слід відмітити, що вищі спирти є безпосередніми попередниками більшості ароматичних естерів у процесі витримки дистилляту, які відповідальні за формування фруктових складових в ароматичному профілі, адже ці естери, в своїй більшості, мають низькі порогові концентрації (Sánchez, Lozano, PedroSantos, & Azabal, 2018). Тому наступним етапом роботи було дослідження зміни ароматичного профілю пивних дистиллятів залежно від бочки.

Витримка пивних дистиллятів у бочках надавала зразкам свої смакові і ароматичні відбитки. Причому в дистиллят переходять і відтінки аромату попередніх напоїв, пивні відтінки зменшують свою інтенсивність або взагалі не відчуються внаслідок домінування дескрипторів бочки або попереднього напою (рис. 2).

Зауважимо, що у всіх дослідних зразках спиртовий тон знизився у 2 та більше разів. Також сивушні відтінки знизили свою інтенсивність у всіх зразках, окрім бочки після кукурудзяного віскі.

У дистилляті, витриманому в новій бочці, з'являлися відтінки дерева (3,5 бала), була відчутна хвойна складова (2 бали). Бочка після медового вина збагатила дистиллят медовим тоном (3,5 бала), тон яблука залишився на рівні 3 бали, але з'явилися відтінки деревини та більше проявився тон солоду. В цьому зразку сивушні відтінки дегустатори не фіксували.

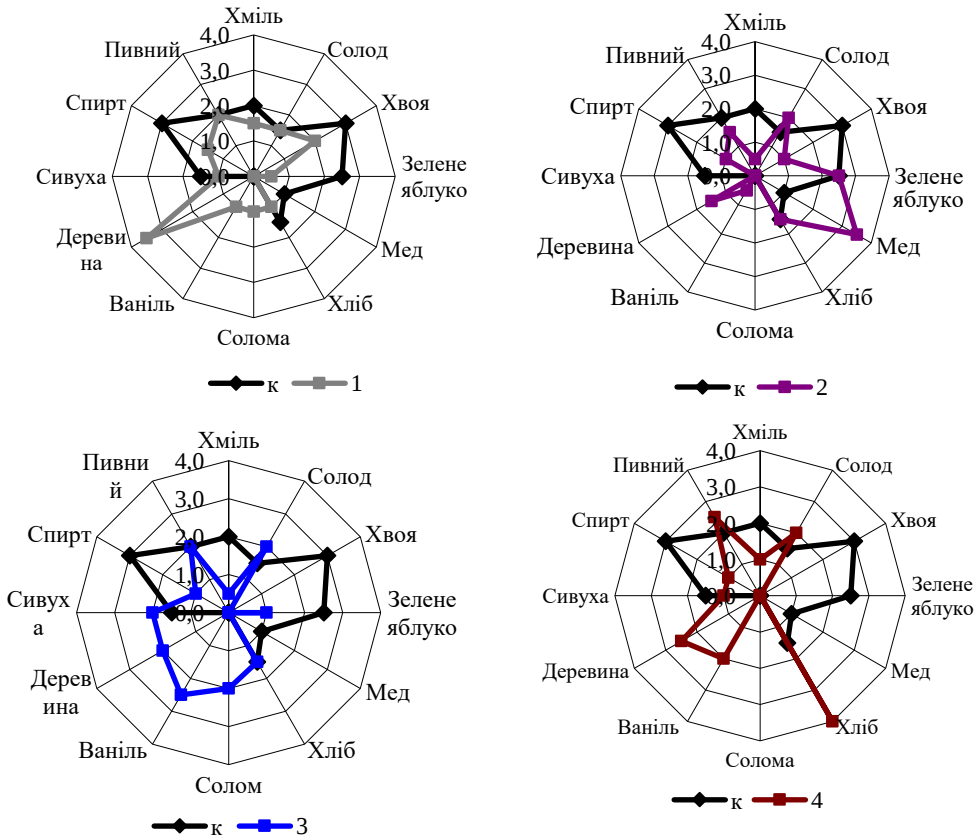


Рис. 2. Зміна дескрипторів аромату витриманих пивних дистилатів залежно від бочки:
к — контроль; 1 — нова бочка; 2 — бочка після медового вина; 3 — бочка після кукурудзяного віскі; 4 — бочка після житнього віскі

У профілю пивного дистилату після витримки в бочці з-під кукурудзяного віскі переважали тони ванілі (2,5 бала), також відмічали тони соломи, деревини та сивухи на рівні 2 бали, хвойний відтінок у цьому зразку був відсутній.

Бочка після житнього віскі надавала пивному дистилату інтенсивний хлібний тон — 4 бали, а також ноту деревини та ванілі (3 та 2,5 бала), були достатньо відчутні солодові (2 бали) та пивні ноты (2,5 бала). Загальна інтенсивність аромату була майже однакова у всіх дослідних зразках.

Слід відмітити, що витримані зразки дистилатів набули приємних світло-бурштинових кольорів через екстрагування фенольних сполук і меланоїдинів бочки дистилатами та завдяки перебігу окисно-відновних реакції під дією кисню.

Смаковий профіль пивного дистилату також зазнав змін протягом витримки. Якщо початковий дистилат характеризувався середньою м'якістю та певною пекучістю, з типовими відтінками пива та довгим теплим післясмаком, то після ви-

тримки внаслідок екстрагування фенольних речовин, полісахаридів та інших речовин дубової деревини, їх окиснення й трансформації смак дистилляту дещо змінився (рис. 3).

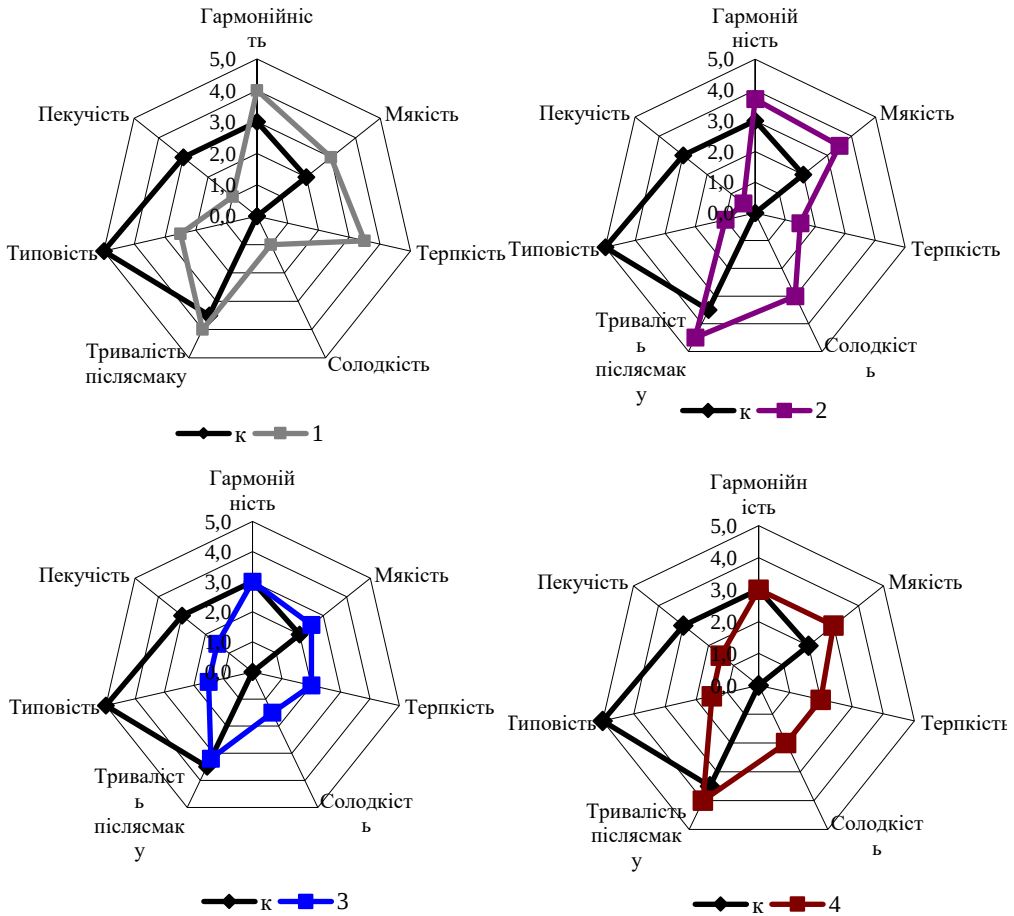


Рис. 3. Зміна дескрипторів смаку витриманих пивних дистиллятів залежно від бочки: к — контроль; 1 — нова бочка; 2 — бочка після медового вина; 3 — бочка після житнього віскі; 4 — бочка після кукурудзяного віскі

У зразках дистиллятів з'явилася приємна солодкуватість, обумовлена частковим розпадом геміцелюлоз деревини до простих цукрів під час витримки. Найбільш виражений тон солодкості відмічено в дистилляті після медового вина. В цілому всі зразки набувають тонів витримки, приємних терпкуватих відтінків і гармонійності.

Висновки

Молодий пивний дистиллят зберігає тони аромату, характерні для пива — солодово-пивні ноти з фруктовими відтінками, але пивний, хмельовий і солодовий тони у 2...2,5 раза зменшують свою інтенсивність в дистилляті.

Аромат пивного дистиляту обумовлено представниками терпенових і вищих спиртів, складних естерів, альдегідів та інших карбонільних сполук, концентрація яких, в своїй більшості, більше за порогову. Основними ароматичними характеристиками пивного дистиляту були запах етилового спирту, сивушний тон і хвойний відтінок. Після річної витримки дистиляту в скляній тарі не відбулося достатньої асиміляції етилового спирту, який мав інтенсивність прояву на рівні 3 балів із 5.

Витримка в бочках знижує спиртовий тон до 1,0...1,5 бала, а сивушний запах до 1,0 бала майже у всіх варіантах бочки. Бочка з під різних напоїв надає пивним дистилятам індивідуальний смак та аромат, залежно від попереднього використання бочки. В дистилят переходять і відтінки аромату попередніх напоїв, які збагачують букет, але пивні характеристики зменшують свою інтенсивність — хмелевий тон знижувався у 1,5...3 рази, хвойна нота — на 30% або зникала повністю.

Подальші наукові дослідження повинні бути спрямовані на дослідження ароматичного комплексу пивних дистилятів, удосконалення процесу виробництва, створення балансу відчуттів для більш якісного та конкурентоспроможного продукту.

Загалом виробництво пивних дистилятів є динамічною та перспективною галуззю, а розвиток напрямку дасть змогу створювати нові унікальні смакові та ароматичні відчуття для збагачення культури споживання алкогольних напоїв.

Література

- Білько, М. В. (2012). Дослідження впливу летких фенолів на аромат червоних столових вин. Взято з: <https://dspace.nuft.edu.ua/items/1efc0435-bb63-47e6-b4bc-adb6962692d6>.
- Гринюк, Т. П. (2015). Дослідження хмелепродукції закордонних сортів хмелю. *Агропромислове виробництво Полісся*. 7, 122—126.
- Ткаченко, О. Б., Тринкаль, О. В. (2015). Хімія ароматів вина. *Харчова наука та технологія*. 1(30), 42—50.
- Токар, А., Литовченко, О., & Войцехівський, В. І. (2022). Формування аромату плодово-ягідних виноматеріалів. *Вісник Уманського національного університету садівництва*, 1, 96—101. DOI: 10.31395/2310-0478-2022-1-96-101.
- Awad, P., Athès, V., Esteban-Decloux, M., Snakkers, G., & Giampaoli, P. (2016). Identification of aroma compounds formed during the distillation of Cognac spirits. Взято з: <https://hal-agroparistech.archives-ouvertes.fr/hal-01588915v1>.
- Diguir, M., Laya, A., Wangso, H., Bayang, J. P., & Koubala B. B. (2021). Physicochemical composition of some new craft beers consumed in Maroua town from Far North region of Cameroon. *Asian Journal of Natural Product Biochemistry*, 19(2), 70—80. <https://doi.org/10.13057/biofar/f190205>.
- Dzialo, M. C., Park, R., Steensels, J., Lievens, B., & Verstrepen, K. J. (2017). Physiology, ecology and industrial applications of aroma formation in yeast. *FEMS Microbiology Reviews*, 41, 95—128.
- Francis, I. L., & Newton, J. L. (2005). Determining wine aroma from compositional data. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. Т. 11., №. 2. 114—126. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2005.tb00283.x.
- Gollihue, J., Richmond, M., Wheatley, H., Pook, V. G., Nair, M., Kagan, I. A., & DeBolt, S. (2018). Liberation of recalcitrant cell wall sugars from oak barrels into bourbon whiskey during aging. *Scientific Reports*, 8 (15899). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34204-1>.
- Holt, S., Miks, M. H., de Carvalho, B. T., Foulquié-Moreno, M. R. & Thevelein, J. M. (2019). The molecular biology of fruity and floral aromas in beer and other alcoholic beverages. *FEMS Microbiology Reviews*. May 1;43(3), 193—222. doi: 10.1093/femsre/fuy041. PMID: 30445501; PMCID: PMC6524682.

Kishimoto, T., Wanikawa, A., Kono, K., & Shibata, K. (2006). Comparison of the odor-active compounds in unhopped beer and beers hopped with different hop varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Nov, 15; 54(23), 8855—61. doi: 10.1021/jf061342c.

MacNamara, K., van Wyk, C. J., Augustyn, O. P. H., & Rapp A. (2001). Flavour Components of Whiskey. II Ageing Changes in the High-Volatility Fraction. *South African Journal of Enology and Viticulture*. 22(2), 75—81.

Official Journal of the European Union 17.5. (2019). Взято з: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0787>.

Olaniran, A. O., Hiralal, L., Mokoena, M. P., & Pillay, B. (2017). Flavour-active volatile compounds in beer: Production, regulation and control. *Journal of the Institute of Brewing*, 123(1), 2313—2323. <https://doi.org/10.1002/jib.389>.

Piggott, J. R. (2016). Whisky, Whiskey and Bourbon: Composition and Analysis of Whisky. *Encyclopedia of Food and Health*. Academic Press: Oxford, UK, 514—518. DOI:10.1016/B978-0-12-384947-2.00752-2.

Sánchez, C., Lozano, J., PedroSantos, J., & Azabal, A. (2018). Discrimination of Aromas in Beer with Electronic Nose. Conference: 2018 12th Spanish Conference on Electron Devices (CDE), November 2018. DOI:10.1109/CDE.2018.8596955.

Thiel, J. (2017). Rhine Hall and Goose Island have made bierschnaps using one of the most famous barrel-aged beers in the world. *Reader*. November, 15. Взято з: <https://chicagoreader.com/blogs/rhine-hall-and-goose-island-have-made-bierschnaps-using-one-of-the-most-famous-barrel-aged-beers-in-the-world/>.

Van Opstaele, F., De Causmaecker, B., Aerts, G., De Cooman, L. (2012). Characterisation of novel varietal floral hop aromas by headspace solid phase microextraction and gas chromatography mass spectrometry/olfactometry: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60(50), 12270—12281.

Vecseri-Hegyes, B., Farkas, G., Utassy, R., & Panyik, I. (2005). Elaboration of the Technology for the Production of Bierbrand in a Pilot Plant. *Journal of the Institute of Brewing*, 111, 11—19. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2005.tb00643.x>.

Wanikawa, A., Yamamoto, N., & Hosoi, K. (2004). The influence of brewers' yeast on the quality of malt whisky. *Distilled Spirits: Tradition and Innovation*; Nottingham University Press: Nottingham, UK, 95—101.

Waymark, C., & Hill, A. E. (2021). The Influence of Yeast Strain on Whisky New Make Spirit Aroma. *Fermentation*. 7(4), 311. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040311>.

Wine Low (2021). Alvarez et al. Paris. Взято з: <https://publicacoes.eshte.pt/dir/wl/wl/>.

RANKING THE CRYOPROTECTANTS BY THEIR EFFECTIVENESS TO PROTECT THE BIOLOGICAL STRUCTURES FROM DAMAGES UNDER LOW TEMPERATURES

G. Simakhina

National University of Food Technologies

Key words:

*Plant raw materials
Freezing
Cryogenous damages
Cryoprotection
Defrosting
Biologically active
substances*

Article history:

Received 09.01.2024
Received in revised form
23.01.2024
Accepted 05.02.2024

Corresponding author:

G. Simakhina
E-mail:
npnuht@ukr.net

Citation: Сімахіна Г. О. (2024). Ранжування кріопротекторів за ефективністю захисту біологічних структур від ушкоджень при низьких температурах. *Наукові праці НУХТ*, 30(1), 141—152.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-1-14

ABSTRACT

The task to improve the techniques and technologies of agricultural raw freezing is of the highest importance in food and processing industries. It is the artificial cold that would oppress or inhibit the activity of microorganisms, slow down the undesired chemical and biochemical processes connected with air oxygen, light, and so on. In other words, the artificial cold minimizes the impact of the factors that accelerate the food spoilage, retains the sensory indices of foods and half products, diversifies the array of frozen plant products, expands its market, and benefits the implementation of innovations into the preservation technologies with usage of artificial cold.

Nowadays, the domestic market of frozen fruit, berry and vegetable products is intensively developing. This tendency can be explained by the growing volumes of raw production, involving the wild fruit and berries into the food technologies, and enhancement of the level of people's awareness of the healthy food specifications.

Today, the regularity between the velocity of biological object freezing and the grade of their tissue damages has become classical. The quick freezing benefits the creation of fine ice crystals, evenly distributed in the intercellular space. Conversely, during the slow freezing it is possible to observe the dramatic damages of cells by ice crystals, which would result in the loss of 80 % of valuable biologically active substances in the raw materials.

The author of the article, having based on the experimentally obtained results, scientifically proved the expedience of using various cryoprotectants, ranking them by four categories, according to their descending effect in freezing the following sorts of raw materials: cherries (pit fruit), raspberries (complex berries), black currant (simple berries). The presented results are of scientific and practical importance and therefore can be used in educational process or academic researches while individually selecting the most effective cryoprotectants, and also in extension of the range of substances with evident cryoprotecting properties.

РАНЖУВАННЯ КРІОПРОТЕКТОРІВ ЗА ЕФЕКТИВНІСТЮ ЗАХИСТУ БІОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР ВІД УШКОДЖЕНЬ ПРИ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Г. О. Сімахіна

Національний університет харчових технологій

Удосконалення техніки і технологій заморожування сільськогосподарської сировини — надзвичайно актуальне завдання харчової і переробної промисловостей. Саме під впливом штучного холоду пригнічується або сповільнюється життєдіяльність мікроорганізмів, знижується швидкість негативних хімічних і біохімічних процесів, кисню повітря, світла, інших чинників. Усе це запобігає псуванню продуктів, зберіганню їхніх органолептичних показників, сприяє диверсифікації рослинної замороженої продукції, розширенню її ринку, впровадженню інновацій у технології консервування з використанням штучного холоду.

Останнім часом вітчизняний ринок замороженої плодової, ягідної та овочевої продукції перебуває у стадії інтенсивного розвитку. Ця тенденція пояснюється зростанням обсягів виробництва сировини, залученням до сфери харчових технологій дикорослих плодів і ягід, підвищенням рівня обізнаності населення в особливостях здорового харчування.

На сьогодні уже класичною стала виявлена закономірність між швидкістю заморожування біооб'єктів і ступенем руйнування їх тканинних структур. Швидке заморожування сприяє утворенню дрібних, рівномірно розподілених у міжклітинному просторі кристалів льоду. І навпаки, при повільному заморожуванні спостерігається істотне руйнування клітин утвореними кристалами льоду, внаслідок чого при дефростації напівфабрикатів утрачається до 80% цінних біологічно активних речовин сировини.

У статті за результатами експериментальних досліджень науково обґрунтовано доцільність використання і ранжування різних кріопротекторів за чотирма категоріями та спадним ефектом їх кріозахисту при заморожуванні культивованих сортів плодів і ягід: вишині (кісточкові плоди), малини (ягоди складні), смородини чорної (ягоди справжні). Наведені результати мають наукове та практичне значення і можуть бути використані в навчальному процесі, наукових дослідженнях при індивідуальному підборі найбільш ефективних кріопротекторів, а також для розширення спектра сполук із вираженими кріозахисними властивостями.

Ключові слова: *рослинна сировина, заморожування, кріоушкодження, кріозахист, дефростація, біологічно активні речовини.*

Постановка проблеми. Попит на заморожену плодово-ягідну та овочеву продукцію в усьому світі зростає, її товарообіг щорічно збільшується майже на 4% (Frozen fruit, 2023; Світовий попит, 2023). І це цілком закономірно. Використання штучного холоду викликає мінімальні зміни харчової та біологічної цінності сировини й отриманих з неї готових продуктів, їх якості та органолептичних показ-

ників (Goyal, Verma, & Joshi, 2000). Водночас за економічністю та особливо питомими витратами енергії спосіб консервування харчових матеріалів заморожуванням має значні переваги перед методами теплового оброблення — пастеризацією, стерилізацією, сушінням тощо (Rickman, & Barrett, 2007).

Недаремно за прогнозами фахівців пріоритетним методом консервування харчової сировини визнано штучний холод у всіх його модифікаціях і варіантах використання (Frozen Foods, 2008; Silva, Gonçalves, & Brandão, 2008; Сімахіна, Кочубей-Литвиненко, Науменко, & Камінська, 2022).

Водночас у країнах Центральної та Східної Європи поки що випускається недостатньо власної замороженої рослинної продукції (DeAncos, Sanchez-Moreno, ..., & Cano, 2012), особливо плодово-ягідної, а та, що надходить у торговельну мережу, здебільшого має низьку якість у зв'язку з недосконалістю традиційних технологій заморожування і зберігання напівфабрикатів (Белоус, & Грищенко, 1994). Біооб'єкти зазнають значних кріоушкоджень під час заморожування (DeAncos, Sanchez-Moreno, Pascual-Teresa, & Cano, 2012; Белоус, & Грищенко, 1994), тому при їх дефростації втрачається клітинний сік і разом із ним — біологічно активні речовини (вітаміни, мінеральні елементи, міnorні сполуки), які, власне, і становлять основну цінність плодово-ягідної сировини (Poiana, Moigradean, Raba, Alda, & Pora, 2010).

Тому вдосконалення існуючих низькотемпературних технологій перероблення плодово-ягідної та овочевої сировини, зокрема за рахунок поєднання впливу холоду з іншими фізичними й технологічними чинниками, є актуальним для виробників заморожених напівфабрикатів (Прісс, & Жукова, 2015; Павлюк, & Погарська, 2013; Li, & Sun, 2002).

Аналіз сучасних наукових праць за темою дослідження свідчить про те, що найбільш глибоко механізми кріоушкоджень клітин біооб'єктів і способи їх кріопротекції вивчено у кріобіології (Wagner, Martowicz, Livesey, & Connor, 2002; Рамазанов, Воловельська, Коптелов, & Бондаренко, 2014) — порівняно молодій галузі загальної біології. Фундаментальні та прикладні дослідження, виконані у період 50—70-х років ХХ ст. в кріобіологічних центрах США, Англії, Франції, Японії. Загальний висновок учених такий: розвиток руйнівного поза- та внутрішньоклітинного кристалоутворення істотно гальмується при заморожуванні клітин і тканин, якщо воно відбувається під захистом різних кріопротекторів, які сприяють модифікації структури рідкої фази і характерові її кристалоутворення.

У праці А. Білоуса та В. Грищенка пропонується таке визначення: «Кріопротекторами називають сполуки, які здатні запобігати розвитку ушкоджень біологічних об'єктів при їх заморожуванні і подальшому відігріванні» (Белоус, & Грищенко, 1994). Загальними властивостями кріопротекторів дослідники вважають наявність у їхній структурі полярних молекул, здатних взаємодіяти як із молекулами води, металами, солями, так і з компонентами мембран і біополімерами; їхню здатність впливати на процеси кристалізації, сприяючи формуванню дрібнокристалічного льоду, якому не властиві сильні поля напруги.

Зміна структури льоду під дією кріопротекторів знижує ступінь механічного впливу на цитоплазматичні структури мембрани. У присутності кріопротектора

виморожування вільної фракції води з криозахисного середовища перебігає в широкій температурній зоні й завершується при концентрації невимерзлої води до 20...30% (Boutron, & Kaufmann, 1989).

За літературними даними, найбільш дослідженими є такі кріопротектори (Юрченко, Козлова, Скорняков, Строна, & Репин, 1989; Пушкарь, Шраго, & Белоус, 1999): етанол, гліцерин, сорбіт, глюкоза, фруктоза, сахароза, лактоза, диметилсульфоксид (ДМСО), гліцин, лимонна кислота, декстрин, гідроксиетилкрахмаль (ГЕК), желатин, хлористий магній, сульфат натрію, цитрати натрію і калію. Також ефективним є використання комбінації кріопротекторів із числа перерахованих.

Тому вивчення теоретичних і практичних аспектів використання кріопротекторів для попереднього оброблення матеріалів перед заморожуванням є досить актуальною, багатофункціональною та важливою проблемою для інноваційних харчових технологій із застосуванням штучного холоду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Мета заморожування, як і будь-якого іншого способу консервування, полягає в тому, щоб звести до мінімуму або сповільнити реакції, які погіршують якість продуктів і, врешті, роблять їх непридатними до вживання. При температурах нижче нуля вільна вода, як показано вище, перетворюється на лід, втрачає властивість розчину, внаслідок чого життєдіяльність мікроорганізмів пригнічується і активність ферментів втрачає практичне значення. Цей етап анабіозу називають кріоанабіозом або глибоким анабіозом (Smith, 2013).

Отже, фізичною сутністю процесу заморожування будь-яких біологічних об'єктів є фазове перетворення наявної в них води із рідкого стану в кристалічний (Franks, 1974). Це супроводжується зниженням температури всієї системи і виділенням теплоти льодоутворення.

Останнім часом на світовому ринку виробляється і споживається велика кількість замороженої плодово-ягідної та овочевої сировини. Лідерами у її споживанні є Велика Британія, Німеччина, Франція — понад 100 кг за рік на душу населення (Звіт, 2019). В Україні ця частка поки що майже в 20 разів менша. Серед країн-постачальників є Франція, Німеччина, Молдова (2,5% від усього обсягу ввозу продукції), Італія (2,1%) (Кораска, 2023).

Тому важливого значення набувають інновації в технологіях заморожування, плодово-ягідної сировини, які ґрунтуються на використанні широкого спектра кріопротекторів органічної та мінеральної природи (Сімахіна, & Халапсіна, 2017), на вивченні і впровадженні способів заморожування ягід з ніжною та щільною покривною тканиною (Сімахіна, & Халапсіна, 2016), розробленні раціональних методів дефростації заморожених напівфабрикатів з мінімальними втратами клітинного соку (Сімахіна, & Камінська, 2018), створенні системи управління безпекою виробництва заморожених плодів і ягід на етапах життєвого циклу на основі принципів НАССР (Сімахіна, Камінська, & Науменко, 2019) тощо.

Особливу увагу слід приділити інтенсифікації процесів холодильного оброблення сировини, нестійкої при зберіганні, з високим вмістом вологи, можливістю розвитку мікробіологічного забруднення, що загалом призводить до зниження харчової і біологічної цінності матеріалів та отриманих з них продуктів. Сказане стосується передусім плодів і ягід (вміст вологи в яких досягає 90%), і найбільш

перспективним способом перероблення яких є швидке заморожування (Одарченко, Кудряшов, Штих, & Сюсель, 2012; Масліков, 2007; Масліков, 2003).

Водночас при швидкому або шоковому заморожуванні відбувається значне кріоушкодження клітин і тканинних структур. І лише заморожуючи біооб'єкти під захистом сполук-кріопротекторів, вітчизняні науковці Є. Гордієнко, В. Грищенко, А. Білоус, М. Пушкар змогли практично повністю запобігти руйнуванню клітин утвореними кристалами льоду. Аналогічні результати отримано при заморожуванні дріжджів (Кирилук, 2008) та еритроцитів (Hess, 2004).

Мета статті: адаптація результатів, отриманих науковцями в галузях кріобіології та кріомедицини, до процесів заморожування плодово-ягідної сировини, вивчення ефективності кріозахисної дії різних сполук і їх ранжування за ступенем збереження клітинних структур та основних біологічно активних речовин сировини при заморожуванні, зберіганні та дефростації отриманих напівфабрикатів.

Матеріали і методи. Досліджено плоди вишні (ДСТУ 8325:2015), ягоди малини (ДСТУ 7179:2010), ягоди смородини чорної (ДСТУ 4722:2007) у свіжому, замороженому та дефростованому стані. Як кріопротектори вивчено водні розчини (10- та 15-відсоткової концентрації) сахарози, фруктози, глюкози та їхніх сумішей із одновідсотковим розчином лимонної кислоти; розчин хлористого магнію, а також одновідсоткові суміші сорбінової і бензойної кислот.

Після приймання сировини, миття, очищення від сторонніх домішок плоди та ягоди обробляли розчинами кріопротекторів протягом визначеного експериментально терміну при кімнатній температурі. Потім заморожували у швидкоморозильній камері розсипом при температурі $-35...-37\text{ }^{\circ}\text{C}$, що відповідає параметрам шокового заморожування. Процес триває до досягнення в центрі ягід температури $-18\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Заморожені плоди та ягоди пакували в пакети по 500 г, дотримуючись вимог цілісності і герметичності упаковки, зберігали протягом 12 місяців (максимальний термін) при температурі $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості не більше ніж 95%. При підготовці напівфабрикатів до реалізації проводили дефростацію при температурі $34...40\text{ }^{\circ}\text{C}$ на водяній бані. Контролем служили плоди та ягоди, заморожені за традиційною технологією, тобто без використання кріопротекторів.

Вміст вітаміну С як основного біокомпонента плодово-ягідної сировини, що визначає її харчову та біологічну цінність, і ступінь збереження якого в процесі перероблення сировини є ймовірним індикатором досконалості технології заморожування, визначали у свіжих плодах і ягодах, заморожених та дефростованих за традиційною технологією (контроль), і заморожених під прикриттям кріопротекторів. Методика визначення вітаміну С — загальновідома і ґрунтується на використанні 2,6-дихлорфеноліндофеноляту натрію (Helrich, 1990).

Викладення основних результатів дослідження. Обґрунтування вибору основних параметрів підготовчих операцій перед заморожуванням плодово-ягідної сировини здійснювали на основі існуючих теоретичних даних. Досі механізм захисної дії кріопротекторів вивчено недостатньо. Інформація про те, що і як має змінюватись у клітинах біооб'єктів, постійно поповнюється новими даними, в основному в галузях кріобіології та кріомедицини. Ці дослідження показали, що захисні сполуки використовують у складі кріозахисних середовищ — водних розчинів кріопротекторів, а вибір кріопротектора здійснюється індивідуально для

кожної клітинної фракції, оскільки універсальних принципів підбору або синтезу кріопротектора із заданими властивостями досі не існує.

Тому для з'ясування оптимальної концентрації водного розчину кріопротектора у захисному середовищі для попереднього оброблення плодово-ягідної сировини перед заморожуванням дослідні зразки обробляли розчинами кріопротекторів концентрацією 3%, 7%, 10%, 15%, і заморожували за наведеними вище параметрами процесу. Після дефростації ягід здійснили їх оцінку за зовнішнім виглядом як комплексним показником і величиною вологовіддачі, на основі чого встановили оптимальну концентрацію розчину кріопротектора. Результати наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Вибір оптимальної концентрації розчину кріопротектора за величиною вологовіддачі і виглядом дефростованих плодів та ягід

Концентрація розчину кріопротектора, %	Величина вологовіддачі, %	Зовнішній вигляд плодів та ягід
0 (контроль)	23,8	Заморожені без кріопротекторного захисту, після розморожування значно деформовані, цілісність текстури порушено, що призводить до істотних втрат соку
3,0	18,5	Дефростовані втрачають сік, а разом з ним водорозчинні БАР; структура розм'якшена, ягоди втратили свою форму, значною мірою деформовані і набули бурого кольору
7,0	10,8	Втрати соку дефростованих ягід менші; у більшості з них збережена природна форма; проте в частини ягід помітні деформації та порушення цілісності, дещо змінено колір і смак
10,0	5,2	Дефростовані зберігають свою початкову форму, колір, мають блиск, деформацій або порушення цілісності, виділення соку мінімальні. За смаком і запахом різниці між розмороженими та свіжими не встановлено
15,0	4,8	Дефростовані майже не втрачають сік; смак, колір і консистенція практично рівноцінні свіжим. Вологовіддача аналогічна величині, характерній для свіжих ягід

З отриманих даних робимо висновок, що оптимальна концентрація розчину кріопротектора, незалежно від його природи, становить 10—15%. Звичайно, слід враховувати і той факт, що ягоди у своєму складі також містять і сахарозу, і глюкозу, які посилюють ефект зовнішньої кріопротекції.

Концентрація розчину кріопротектора — це перший чинник, який впливає на ефект захисту рослинних клітин від кріоушкоджень, а інший — тривалість оброблення плодів та ягід перед заморожуванням. Дослідженими розчинами кріопротекторів 10—15% концентрації обробляли плоди та ягоди протягом різної тривалості — від 10 до 60 хв, а потім заморожували у швидкокоморозильній камері.

Дегустаційну оцінку дефростованих плодів та ягід наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Залежність дегустаційної оцінки дефростованих плодів і ягід від тривалості оброблення розчинами кріопротекторів (за п'ятибальною шкалою, бали)

Дослідні зразки	Тривалість оброблення плодів та ягід кріопротекторами, хв					
	10	20	30	40	50	60
Вишні	3,8	4,0	4,3	4,6	4,9	5,0
Чорна смородина	4,0	4,0	4,5	4,8	5,0	5,0
Малина	3,7	4,1	4,5	4,5	4,9	4,9

Згідно з табличними даними, максимальну дегустаційну оцінку отримали плоди і ягоди, тривалість оброблення яких перед заморожуванням розчинами кріопротекторів становить 50—60 хв. Таку тривалість приймаємо за оптимальну.

Уже зазначали, що ймовірним індикатором ефективності оброблення плодів і ягід перед заморожуванням розчинами кріопротекторів є ступінь збереження основних біокомпонентів у дефростованих напівфабрикатах. Таким компонентом є передусім вітамін С, найбільш термолабільний і найбільш чутливий до будь-яких технологічних процесів. Тому за ступенем його збереження можна об'єктивно оцінити ефективність застосування тих чи тих кріопротекторів для попереднього оброблення сировини.

У табл. 3 наведено результати вмісту аскорбінової кислоти у плодово-ягідній сировині залежно від виду її оброблення.

Таблиця 3. Зміни вмісту вітаміну С у плодах і ягодах, заморожених традиційним способом

Дослідні зразки	Вміст вітаміну С, мг/100 г			НІР _{0,5}
	вишня	чорна смородина	малина	
Свіжі	130,4	243,6	193,3	0,8
Заморожені (контроль)	104,9	202,0	142,5	0,7
Заморожені і дефростовані (контроль)	48,5	108,1	56,1	0,9

Аналіз даних табл. 3 показав, що щойно заморожені за традиційною технологією плоди і ягоди вже втрачають певну кількість аскорбінової кислоти. І якщо її вміст у свіжій сировині прийняти за 100%, то втрати в заморожених вишнях склали 19,6%; чорній смородині — 16,8%; малині — 26,3%. Це є результатом руйнівного впливу поза- та внутрішньоклітинних кристалів льоду, утворених при низьких температурах, на мембрани клітин ягід і субклітинні структури. Внаслідок цього частина клітин втрачають свою цілісність, цитоплазмova оболонка (каркас клітини) розривається (Білоус, & Грищенко, 1994), призводячи до безпосереднього контакту біологічно активних речовин, які містяться всередині клітини, з оксидоредуктазами. Вони прискорюють біохімічні реакції окислення, внаслідок чого вітамін С руйнується.

Її втрати істотно зростають при дефростації ягід у результаті витікання клітинного соку разом із розчиненими в ньому біокомпонентами з кріоушкоджених клітин. Так, вони підвищилися до 62,8% у вишнях, до 55,6% — у ягодах чорної

смородини та 71% — у ягодах малини. Внаслідок цього харчова та біологічна цінність напівфабрикатів різко знижується, і навіть із найбільш якісної сировини неможливо отримати ідентичні продукти.

Наступним етапом досліджень є з'ясування вмісту вітаміну С у дефростованих плодах і ягодах, попередньо оброблених розчинами різних кріопротекторів. У табл. 4 наведено результати вмісту аскорбінової кислоти (у відсотковому співвідношенні до цього показника у свіжих плодах та ягодах: вишні — 130,4 мг/100 г; ягоди чорної смородини — 243,6 мг/100 г; ягоди малини — 193,3 мг/100 г, прийнятого за 100%) у дефростованих плодах і ягодах після 12 місяців зберігання, заморожених за вдосконаленою технологією з використанням кріопротекторів.

Таблиця 4. Залежність концентрації вітаміну С у дефростованих зразках від виду кріопротектора

Використаний кріопротектор	Вміст вітаміну С, % до вмісту у свіжій сировині		
	вишні	чорна смородина	малина
MgCl ₂ (15%)	76,8	70,7	62,4
Сахароза (10%)	78,7	76,5	64,0
Фруктоза (10%)	64,9	63,8	58,8
Глюкоза (10%)	75,8	64,2	57,7
Сахароза (10%) + лим. кислота (1%)	83,5	81,8	75,5
Фруктоза (10%) + лим. кислота (1%)	74,2	70,4	64,7
Глюкоза (10%) + лим. кислота (1%)	81,6	69,8	76,5
Сорбінова кислота (1%) + бензойна кислота (1%)	62,8	60,5	58,4
Контроль (без кріопротектора)	31,0	33,6	22,4

За даними табл. 4, позитивний вплив кріопротекторів виявлено для всіх об'єктів: ступінь збереження вітаміну С у плодах і ягодах, заморожених таким способом і дефростованих після 12 місяців зберігання, перевищує у всіх без винятку дослідях аналогічний показник для сировини, замороженої без попереднього оброблення кріопротекторами. І хоча механізми дії кріопротекторів складні й досі не повністю розкриті (а в технологіях харчових продуктів їх лише почали вивчати), можна констатувати, що з їхньою допомогою реально звести до мінімуму результати ушкоджуючої дії низьких температур при заморожуванні плодів та ягід і подальшій їх дефростації, що підтверджують дані вмісту вітаміну С.

Дані різних авторів свідчать про істотні втрати вітаміну С у плодоовочевій сировині, замороженій традиційним способом — без кріопротекторів. У праці турецьких дослідників Б. Нурсал-Тосума та С. Ючеджана заморожені ягоди суниці втратили 60% аскорбінової кислоти, а овочі — до 65% (Nursal-Tosum, & Yücesan, 2000). Ці дані зіставні з результатами інших науковців та отриманими авторами пропонованої статті. І всі вони є переконливим аргументом необхідності

використання в технологіях заморожування рослинної сировини кріопротекторів різного типу.

Тому для практичного застосування отриманих результатів ми розробили рейтингову шкалу досліджених кріопротекторів і класифікували їх на категорії за ступенем збереження вітаміну С (у відсотковому співвідношенні до його вмісту у сировині) і за зовнішнім виглядом дефростованих напівфабрикатів із умовною назвою «ефект кріозахисту»:

- I категорія — ефект кріозахисту 80% і вище;
- II категорія — ефект кріозахисту 70...79%;
- III категорія — ефект кріозахисту 60...69%;
- IV категорія — ефект кріозахисту 40...59%.

Сполуки, ефект кріозахисту яких становить менше 40%, не рекомендуємо використовувати як кріопротектори.

Розподіл досліджених кріопротекторів за категоріями ефекту кріозахисту, відповідно до розробленої рейтингової шкали, має такий вигляд (табл. 5).

Таблиця 5. Ранжування досліджених кріопротекторів за ефектом кріозахисту ягід і плодів при заморожуванні

Використаний кріопротектор	Дефростовані плоди і ягоди		
	вишні	чорна смородина	малина
MgCl ₂ (15%)	70—79%	70—79%	60—69%
Сахароза (10%)	70—79%	70—79%	60—69%
Фруктоза (10%)	60—69%	60—69%	40—59%
Глюкоза (10%)	70—79%	60—69%	40—59%
Сахароза (10%) + лим. кислота (1%)	80% і вище	80% і вище	70—79%
Фруктоза (10%) + лим. кислота (1%)	70—79%	70—79%	60—69%
Глюкоза (10%) + лим. кислота (1%)	80% і вище	70—79%	70—79%
Сорбінова кислота (1%) + бензойна кислота (1%)	60—69%	60—69%	40—59%
Контроль (без кріопротектора)	—	—	—

Дані табл. 4 і 5 свідчать, що захисний ефект кріопротекторів спрацьовує не лише на етапі заморожування, а й у процесі тривалого зберігання напівфабрикатів і їх дефростації. Найбільш ефективними виявилися комбіновані кріопротектори *сахароза + лимонна кислота* та *глюкоза + лимонна кислота*, ефект кріозахисту яких переважає 80%. Наступним за ефективністю йде комбінований протектор *фруктоза + лимонна кислота* з ефектом кріозахисту 64...74%. Такий же ефект виявили монокріопротектори *сахароза* та *хлористий магній*.

Номенклатура регламентованих нормативними документами показників оцінки якості плодів, ягід, овочів включає в основному їхні органолептичні властивості. Тому для отримання ще однієї характеристики плодів і ягід, заморожених під прикриттям кріопротекторів, провели бальне оцінювання їх органолептичних показників (на прикладі ягід чорної смородини). Результати наведено в табл. 6.

Таблиця 6. Бальна оцінка органолептичних показників заморожених ягід чорної смородини з використанням кріопротекторів

Показники	Коефіцієнт вагомості	Бали	Характеристика
Зовнішній вигляд	0,35	5	Ягоди чисті, рівномірно заморожені, з сизуватим нальотом, тургор пружний, цілісність покриву не порушена, форма збережена; придатні до тривалого зберігання
Смак	0,2	5	Ідентичний натуральним свіжим ягодам, сторонній присмак відсутній
Колір	0,1	5	Інтенсивний, насичений, дещо посилений порівняно зі свіжими ягодами, очевидно, за рахунок синтезу антоціанів при холодостресі
Стан поверхні	0,2	5	Без пошкоджень, дефектів, тріщин, без зміни форми, без втрат клітинного соку
Аромат	0,15	5	Властивий свіжим ягодам; інтенсивніший за рахунок синтезу ароматоутворюючих сполук при холодостресі

Ягоди чорної смородини, заморожені з використанням кріопротекторів, за всіма показниками органолептики отримали максимальні 5 балів, підтвердили свій статус надійного джерела вітамінів і мінеральних елементів у міжсезонний період до нового врожаю.

Висновки

Отримані результати дають підстави стверджувати, що одним із інноваційних шляхів удосконалення технологій заморожування плодово-ягідної сировини є використання водних розчинів сполук-кріопротекторів, які сприяють цілісності структури заморожуваних матеріалів у процесі зберігання та дефростації, забезпечуючи високу харчову та біологічну цінність напівфабрикатів.

Критерієм ефективності кріопротекторів у запропонованому дослідженні є залишковий вміст вітаміну С (як найбільш лабільної сполуки) у дефростованих плодах і ягодах; запропоновано показник «ефект кріозахисту» та рейтингову шкалу, за якою можна об'єктивно підібрати ефективний кріопротектор для кожного виду сировини. Кріопротектори, ефективність яких менша від 40%, не рекомендовано до застосування. Завдяки захисній дії кріопротекторів на етапі заморожування втрати вітаміну С не перевищують 16,8...26,3%, а після зберігання протягом 12 місяців та дефростації залишковий вміст вітаміну С становить від 62,8 до 83,5%, тоді як у контрольному зразку (без кріопротекторів) — лише 22,4...33,6%.

Перспективними напрямками подальших досліджень є розширення спектра ефективних природних кріопротекторів для попереднього оброблення інших видів сільськогосподарської сировини, з'ясування механізму дії кріопротекторів, що загалом збільшить виробництво заморожених напівфабрикатів підвищеної вітамінної цінності.

Література

- Белоус, А. М., & Грищенко, В. И. (1994). *Криобиология*: монографія. Київ: Наукова думка.
- Звіт (2019). Звіт «Аналіз світового ринку заморожених продуктів харчування за видом продукції та географічним розташуванням: тенденції та прогнози (2010—2018)». Взято з: <http://www.ucca.org.ua/ua/information/news/21#>.
- Кирилюк, Г. Л. (2008). *Вплив кріопротекторів і режимів заморожування на механічне пошкодження клітин в області субевтектичних температур*: автореф. дис. канд. біол. наук. Харків. 2008.
- Масліков, М. М. (2003). Швидке заморожування харчових продуктів. *Холод*, 3, 32—35.
- Масліков, М. М. (2007). *Холодильна технологія харчових продуктів*: навч. посібник. Київ: НУХТ.
- Одарченко, Д. М., Кудряшов, А. І., Штих, С. В., Сюсель, О. О. (2012). Дослідження функціонально-технологічних властивостей заморожених напівфабрикатів на основі дикорослих ягід. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*, 42(2), 17—20.
- Павлюк, Р. Ю., Погарська, В. В. (2013). Нове в технології отримання заморожених ягід та поре з рекордними характеристиками. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства*, 1(1), 3—9.
- Прісс, О. П., Жукова, В. Ф. (2015). Збереження плодів томатів і перцю за обробки екстрактами кореня хрену. *Харчова наука і технологія*, 5, 68—74.
- Пушкар, Н. С., Шраго, М. И., & Белоус, А. М. (1999). *Криопротекторы*. Київ: Наукова думка.
- Рамазанов, В. В., Воловельська, Е. Л., Коптелов, В. О., Бондаренко, В. А. (2014). Властивості еритроцитів з невисоким ступенем збереження після заморожування в середовищі з непроникними та проникними кріопротекторами. *Фізіологічний журнал*, 60(6), 46—53.
- Світовий попит (2023). Світовий попит на заморожену продукцію продовжує зростати. Взято з: <http://www.lol.org.ua/rus/showart.php?id=114914>. (дата звернення 12.12.2023).
- Сімахіна, Г. О., Камінська, С. В., Науменко, Р. Ю. (2019). Управління безпекою швидкозамороженої плодово-ягідної продукції на етапах її життєвого циклу. *Харчова промисловість*, 25, 60—69.
- Сімахіна, Г. О., Камінська, С. В. (2018). Оцінка втрат клітинного соку та зміни органолептичних показників заморожених плодів при тривалому зберіганні і дефростації. *Харчова промисловість*, 23, 13—21. DOI: 10.24263/2225-2916-2018-23-4.
- Сімахіна, Г. О., Халапсіна, С. В. (2016). Отримання заморожених напівфабрикатів дикорослих ягід зі щільною покривною тканиною. *Наукові праці НУХТ*, 22(3), 198—205.
- Сімахіна, Г. О., Халапсіна, С. В. (2017). Ефективність використання кріопротекторів при заморожуванні дикорослих і культивованих ягід. *Наукові праці НУХТ*, 23(3), 179—185.
- Сімахіна, Г. О., Кочубей-Литвиненко, О. В., Науменко, Н. В. & Камінська, С. В. (2022). *Кріоушкодження та кріозахист у холодових технологіях*: монографія. Київ: Видавництво «Сталь».
- Юрченко, Т. Н., Козлова, В. Ф., Скорняков, Б. А., Строна, В. И., & Репин, Н. В. (1989). Влияние криопротекторов на биологические системы. Київ: Наукова думка.
- Boutron, P., Kaufmann, A. (1989). Stability of the amorphous state in the system water-glycerol ethylene glycol. *Cryobiology*, 1, 83—89.
- DeAncos, B., Sanchez-Moreno, C., Pascual-Teresa, D., & Cano, M. P. (2012). Freezing preservation of fruits. *Handbook of Fruits and Fruit Processing*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 103—119.
- Franks, F. (1974). The Solvent Properties of Water. In: *Water in Crystalline Hydrates Aqueous Solutions of Simple Nonelectrolytes*. Springer Books, 1—54. Взято з: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4757-6958-6_1 (access date 05.01.2024).
- Frozen Foods (2008). Frozen Foods Handling. Взято з: <http://www.cold.org.gr/library/downloads/Docs/FrozenFoodsHandling.pdf>. (access date 06.01.2024).

- Frozen fruit (2023). Frozen fruit market in the EU: Germany remains the largest importer. Взято з: <https://www.freshplaza.com/article/9020192/frozen-fruit-market-in-the-eu-germany-remains-the-largest-importer> (дата звернення 5.02.2023).
- Goyal, R. K., Verma, L. R. & Joshi, V. K. (2000). Nutritive value of fruits, vegetables, and their products in postharvest technology of fruits and vegetables. Indus Publishing, New Delhi, 337—389.
- Helrich, K. (1990). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th, Arlington, Virginia, 1058—1059.
- Hess, J. R. (2004). Red cell freezing and its impact on the supply chain. *Transfus. Med.*, 14(1), 1—8. DOI: 10.1111/j.0958-7578.2004.00472.x.
- Kopacka, K. (2023). Food trends 2024: To know today what we will eat tomorrow. Взято з: <https://www.ktchnrebel.com/food-trends-2024-gastronomy/> (access date 06.01.2024).
- Li, B., Sun, D. W. (2002). Novel methods for rapid freezing and thawing of foods: A Review. *Journal of Food Engineering*, 54(3), 175—182.
- Nursal-Tosun, B., Yuçecan, S. (2000). Vitamin C losses in some frozen vegetables due to various cooking methods. *Food / Nahrung*, 44(6), 451—453.
- Poiana, M., Moigradean, D., Raba, D., Alda, L.-M., Popa, M. (2010). The effect of long-term frozen storage on the nutraceutical compounds, antioxidant properties and color indices of different kinds of berries. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(1), 54—58.
- Rickman, J. C., Barrett, D. M., Bruhn, C. M. (2007). Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part 1. Vitamins C and B and phenolic compounds. *Journal of Sci Food Agric.*, 87, 930—944.
- Silva, C. L. M., Gonçalves, E. M., & Brandão, T. R. S. (2008). Freezing of Fruits and Vegetables. In: J. A. Evans (eds). *Frozen Food Science and Technology*. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd., 165—183.
- Smith, A. (2013). Biological Effect of Freezing and Supercooling: Monographs of the Physiological Society. No 9.
- Wagner, C. T., Martowicz, M. L., Livesey, S. A., Connor, J. (2002). Biochemical stabilization enhances red blood cell recovery and stability following cryopreservation. *Cryobiology*, 45(2), 153—166.

QUALITY OF FOOD PRODUCTS FROM GARDEN STRAWBERRY BERRIES

I. Zamorska, O. Smelyanets

Uman National University of Horticulture

Key words:

Strawberries
Variety
Quality
Compote
Jam
Preserves
Color intensity

Article history:

Received 11.01.2024
Received in revised form
26.01.2024
Accepted 14.02.2024

Corresponding author:

I. Zamorska
E-mail:
zil197608@gmail.com

Citation: I. Л. Заморська,
О. В. Смілянець (2024).
Якість харчових продуктів
з ягід суниці садової.
Наукові праці НУХТ,
30(1), 153—160.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2024-30-1-15

ABSTRACT

The results of studies of the quality of food products from garden strawberry depending on the type of product and pomological variety of berries are presented in the article. Compotes, jams, and preserves were produced from garden strawberries of the Dukat, Elsanta, Rumba, and Malvina varieties according to generally accepted technological instructions, boiling down jams to 62% dry soluble matter, and to 68%. Compote was made using sugar syrup with concentration of 68%. The ready-made products were sterilized and stored for six months at 20 °C. The quality of the products was evaluated by changes in physicochemical and sensory parameters.

It was found that garden strawberries of the Malvina variety accumulated 4.3—4.5% more dry soluble substances, had 1.3—1.4 times higher sugar content, 1.5—1.7 times more titratable acids, and 1.3—1.5 times more ascorbic acid than other varieties.

It was found that the studied processed products met the requirements of current regulatory documents, which regulated their content of not less than 25% in compotes, 62% in jams, 68% in preserves. The mass fraction of sugars in the products ranged from 24.3—25.4% in compotes, 56.0—56.5% in jams, 61.4—64.0% in preserves, with a significant difference in this indicator depending on the type of product and variety, with a maximum in products made from Malvina berries. The content of titratable acids among the studied products was 0.50—0.60%, while in jams the value of this indicator was lower by 0.02—0.17%, and in preserves — by 0.11—0.15%. Compotes were distinguished by the content of ascorbic acid and its preservation — 35.2—52.8 mg/100g, and among the studied varieties — products from Malvina berries.

A significant dependence of the color intensity of fresh strawberries and its processed products on the characteristics of the variety was proved: the most intensely colored were berries of the Dukat and Malvina varieties and products from them.

According to the results of sensory evaluation, it was found that strawberries of Dukat and Malvina varieties are most suitable for the production of compotes and jams, and Elsanta and Rumba — for preserves.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-1-15

ЯКІСТЬ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ З ЯГІД СУНИЦІ САДОВОЇ

І. Л. Заморська, О. В. Смілянець

Уманський національний університет садівництва

У статті наведено результати досліджень якості харчових продуктів із суниці садової залежно від виду продукту та помологічного сорту ягід. З ягід суниці сортів Дукат, Ельсанта, Румба та Мальвіна виробляли компоти, джеми та варення за загальноприйнятими технологічними інструкціями, уварюючи джеми до 62% сухих розчинних речовин, варення — до 68%. Компот виготовляли з використанням цукрового сиропу в концентрації 68%. Отримані продукти стерилізували та зберігали впродовж шести місяців за температури 20 °С. Якість продуктів оцінювали за змінами фізико-хімічних та органолептичних показників.

Встановлено, що ягоди суниці сорту Мальвіна з-поміж інших сортів накопили на 4,3—4,5% вищий вміст сухих розчинних речовин, в 1,3—1,4 раза — цукрів, в 1,5—1,7 — титрованих кислот, у 1,3—1,5 — аскорбінової кислоти.

Виявлено, що досліджувані продукти переробки за вмістом сухих розчинних речовин відповідали вимогам чинних нормативних документів, що регламентували їхній вміст не нижче 25% у компотах, 62 — у джемах, 68% — у варенні. Масова частка цукрів у продуктах коливалася в межах 24,3—25% у компотах, 56,0—56,5% — у джемах, 61,4—64,0% — у варенні за достовірної різниці за вказаним показником залежно від виду продукту та сорту за максимуму у продуктах з ягід сорту Мальвіна. За вмістом титрованих кислот з-поміж досліджуваних продуктів вирізнялися компоти 0,50—0,60%, тоді як у джемах значення вказаного показника було нижчим на 0,02—0,17%, а у варенні — на 0,11—0,15%. За вмістом аскорбінової кислоти та її збереженістю вирізнялися компоти — 35,2—52,8 мг/100 г, а серед досліджуваних сортів — продукти з ягід сорту Мальвіна.

Доведено суттєву залежність інтенсивності забарвлення свіжої суниці та продуктів її переробки від особливостей сорту: найбільш інтенсивно забарвленими були ягоди сортів Дукат і Мальвіна та продукти з них.

За результатами органолептичної оцінки встановлено, що ягоди суниці сортів Дукат та Мальвіна найбільш придатні для виробництва компотів і варення, джемів — Ельсанта та Румба.

Ключові слова: ягоди суниці, сорт, якість, компот, джем, варення, інтенсивність забарвлення.

Постановка проблеми. Суниця садова — найбільш популярна у світі ягідна культура, що зумовлено ранніми строками дозрівання, високою врожайністю, значним вмістом біологічно активних речовин, антиоксидантною здатністю та рентабельністю виробництва. Ягоди суниці користуються значним попитом з боку споживачів та є сировиною для виробництва різноманітних харчових продуктів: джемів, соків, сиропів, желе, морозива, шоколаду, сухофруктів, кондитерських виробів (Husaini, & Neri, 2016; Oğuz, & Kafkas, 2022).

За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації світове виробництво ягід суниці у 2020 р. склало 8861381 т з площі 384668 га, в Західній Європі — 350244 т з 21021 га. За виробництвом ягід суниці у світі лідирує Китай з 3,336 млн т, на другому місці — США (1,055 млн т), на третьому — Мексика (557 тис. т). Світовий експорт свіжої та замороженої суниці у 2020 р. склав 1,6 млн тонн. За прогнозами аналітиків до 2026 р. світове виробництво ягід суниці садової зросте на 3,4%, а в грошовому еквіваленті сягне 22,450 млн дол. США (FAO). За даними Держкомстату України валовий збір суниці садової у 2022 р. склав 54,3 тис. т з площі 8,1 тис. га (Прокопенко, 2023).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сортимент суниці садової постійно розширюється із заміною існуючої сортової структури на сорти з кращими якісними характеристиками, поліпшеним адаптивним і продуктивним потенціалом та економічними перевагами вирощування. Програми селекції суниці зосереджені на отриманні сортів з легкою агротехнікою, високою стійкістю до шкідників і хвороб, ранніми строками плодоношення, привабливим зовнішнім виглядом і гармонійним смаком (Denaxa та ін., 2022; Qaderi та ін., 2022).

В Україні вирощується значна кількість сортів суниці садової вітчизняної та зарубіжної селекції, що призначені для споживання в свіжому вигляді, технічної переробки та універсальні. Вміст біологічно-активних речовин, характеристики кольору й органолептичні властивості ягід суниці садової суттєво залежать від сорту і можуть змінюватися за допомогою селекційних програм. Виведення нових сортів цієї культури з покращеними харчовими і дієтичними властивостями є запорукою отримання високоякісних харчових продуктів (Cervantes та ін., 2020; Cockerton та ін., 2021; Diamanti та ін., 2015).

Сьогодні зростає попит на відомі та нові продукти з ягід суниці, в тому числі сік, пюре, джем, желе та нектар. Однак використання ягід різних сортів як сировини для виробництва цих продуктів дещо обмежено, що зумовлено втратою природних пігментів, зокрема антоціанів, і негативним впливом переробки й тривалого зберігання на характеристики кольору і вміст біологічно-активних речовин у продуктах (Diamanti та ін., 2014).

Так, за даними (Terefe та ін., 2013) колір більшості плодів суниці суттєво погіршується під час термічної обробки та під тиском через деградацію антоціанів. Про високі втрати антоціанів при виробництві фруктових соків і пюре за різних способів обробки свідчать і дані, отримані в (Brownmiller, Howard, & Prior, 2009). Ці втрати залежать від ферментативної активності, рН продукту і вмісту цукрів у сировині, температури зберігання і доступності кисню. Наслідком деградації високого вмісту антоціанів є зниження індексу кольоровості продукту (Brownmiller, Howard, & Prior, 2009), що є реакцією конденсації антоціанів. На руйнування значної частини біологічно-активних речовин у продуктах із суниці вказується в (Terefe та ін., 2014).

За відсутності сортів суниці з мінімальними втратами біологічно-активних речовин і кольору продуктів під час обробки актуальним є питання необхідності використання штучних барвників, що спричиняє негативну реакцію споживачів. Вирішити цю проблему можна шляхом підбору нових сортів суниці садової для переробки на харчові продукти з більш стійкими характеристиками компонентів хімічного складу та кольору до умов термічної обробки.

Мета дослідження: встановлення якісних характеристик продуктів з ягід суниці садової залежно від помологічного сорту та виявлення найбільш придатних сортів для виробництва компотів, джемів і варення.

Матеріали і методи. Експериментальні дослідження виконували у 2022—2023 рр. на кафедрі харчових технологій Уманського національного університету садівництва з ягодами суниці сортів Дукат (контроль), Ельсанта, Румба та Мальвіна. Якість свіжих ягід суниці садової оцінювали за ДСТУ 7653:2014. Підготовку ягід до переробки здійснювали за загальноприйнятими рекомендаціями. Ягоди збирали в технічній стадії стиглості, сортували за якістю, очищували,мили та виробляли джеми, варення і компоти згідно з чинними нормативними документами. Джем суничний уварювали до вмісту сухих розчинних речовин 62%, варення до — 68% з подальшим фасуванням у скляну тару місткістю 250 см³. Компот виготовляли шляхом фасування ягід у попередньо підготовлену скляну тару місткістю 250 см³ і заливання цукровим сиропом з концентрацією 68%. Отримані продукти стерилізували та зберігали впродовж шести місяців за температури 20 °С.

Якість продукції оцінювали за змінами фізико-хімічних та органолептичних показників: вміст сухих розчинних речовин — рефрактометричним методом за ДСТУ 8402:2015, цукрів — фериціанідним методом за ДСТУ 4954:2008, кислотність титруванням лугом за ДСТУ 4957:2008, вміст аскорбінової кислоти — йодометричним методом, інтенсивність забарвлення — вимірюванням оптичної густини спиртової витяжки зразків на фотоелектроколориметрі КФК-2, розраховуючи як суму оптичних густин: $U = (D_{420} + D_{520})$, органолептичну оцінку ягід та харчових продуктів — за п'ятибальною шкалою. Повторність дослідів трикратна. Статистичний аналіз виконували за допомогою програми StatSoft STATISTICA 6.1.478 User (2007).

Викладення основних результатів дослідження. В результаті досліджень встановлено, що ягоди суниці садової сорту Мальвіна накопичили найбільшу кількість сухих розчинних речовин — 13,6%, тоді як у ягід суниці сортів Ельсанта та Румба цей показник був на 4,3—4,5% нижчим (рис. 1). За результатами дисперсійного аналізу за вмістом сухих розчинних речовин ягоди суниці сортів Дукат, Румба та Ельсанта істотно не різнилися.

Результати дисперсійного аналізу свідчать, що за вмістом цукрів вирізнялися з-поміж інших ягоди сорту Мальвіна — 9,3%, тоді як у інших сортів значення вказаного показника було в 1,3—1,4 раза нижчим.

Вміст титрованих кислот в ягодах суниці садової коливався в межах від 0,6 до 1,0% сягаючи максимуму у ягід сорту Мальвіна, що в 1,5—1,7 раза перевищувало аналогічні значення показника інших сортів.

Аналогічна тенденція спостерігалася і за вмістом аскорбінової кислоти в ягодах за максимального значення у ягід сорту Мальвіна — 88 мг/100 г, що в 1,3—1,5 раза вище проти інших.

Дослідження хімічного складу продуктів з ягід суниці різних сортів показали значну залежність значень показників від виду продукту та сорту. Чинні нормативні документи на досліджувані продукти з ягід суниці нормують масову частку сухих розчинних речовин на рівні не нижче: для компотів — 25, джемів — 62,

варення — 68%. За вказаним фізико-хімічним показником якості одержані продукти з різних сортів суниці відповідають вимогам чинних нормативних документів.

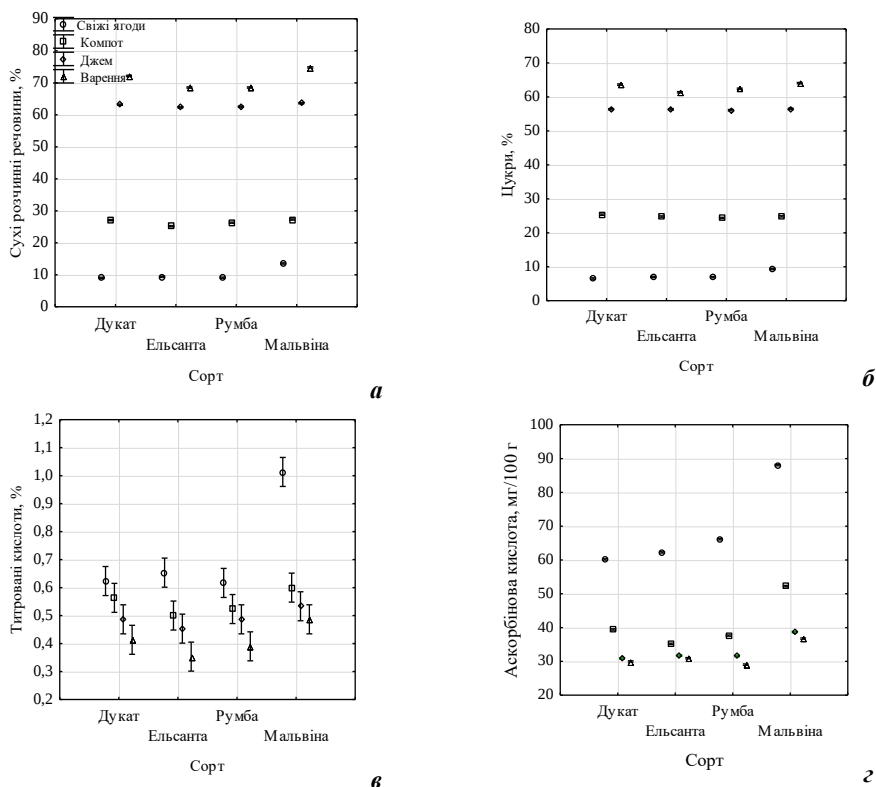


Рис. 1. Компоненти хімічного складу ягід суниці садової залежно від сорту та виду продукту (результати дисперсійного аналізу): *а* — сухі розчинні речовини; *б* — цукри; *в* — титровані кислоти; *г* — аскорбінова кислота

Масова частка цукрів у продуктах складала: у компотах — 24,3—25,4%, джемах — 56,0—56,5%, варенні — 61,4—64,0%, за достовірної різниці за вказаним показником залежно від виду продукту та сорту і максимуму в продуктах з ягід сорту Мальвіна. Нормативні документи на досліджувані продукти не нормують вміст цукрів.

Вміст титрованих кислот у продуктах з ягід суниці достовірно залежав від їхнього вмісту в сировині і виду продукту за максимального вмісту титрованих кислот у компотах — 0,50—0,60%. Натомість у джемах вміст титрованих кислот був нижчим на 0,02—0,17%, а у варенні — на 0,11—0,15%. У консервах з ягід суниці сорту Мальвіна вміст титрованих кислот перевищував аналогічний показник консервів з ягід суниці інших сортів.

Аскорбінова кислота має потужні антиоксидантні властивості завдяки здатності поглинати молекулярний кисень перед окисленням фенольних сполук та акцептора вільних радикалів через швидку реакцію з гідроксильними (та іншими)

радикалами, утворюючи відносно нереактивні радикали, які не можуть легко поширюватися (Pisoschi, Pop, Serban, & Fafaneata, 2014). Фрукти і ягоди є основним джерелом надходження в організм людини аскорбінової кислоти, оскільки ген, що кодує фермент, який каталізує останній етап біосинтезу, L-гулоно-1,4-лактонооксидазу не функціонує через мутації (Cruz-Rus, Amaya, Sanchez-Sevilla, Botella, & Valpuesta, 2011).

Відомо, що в результаті теплової обробки продуктів вміст у них аскорбінової кислоти знижується (Teribia та ін., 2021) за розміру втрат до 78% від вмісту у сировині (Poiana та ін. 2011). В результаті теплової обробки продуктів і проходження окисних процесів у продуктах істотно знизився рівень аскорбінової кислоти: у компотах з ягід суниці вміст аскорбінової кислоти складав 35,2—52,8 мг/100 г, у джемах — 30,8—38,7 мг/100 г, а у варенні — 29,0—37,0 мг/100 г. Достовірно збереженість аскорбінової кислоти в компотах з суниці була вищою проти інших продуктів (рис. 2). Серед досліджуваних сортів високу збереженість аскорбінової кислоти встановлено в продуктах з ягід суниці сорту Мальвіна.

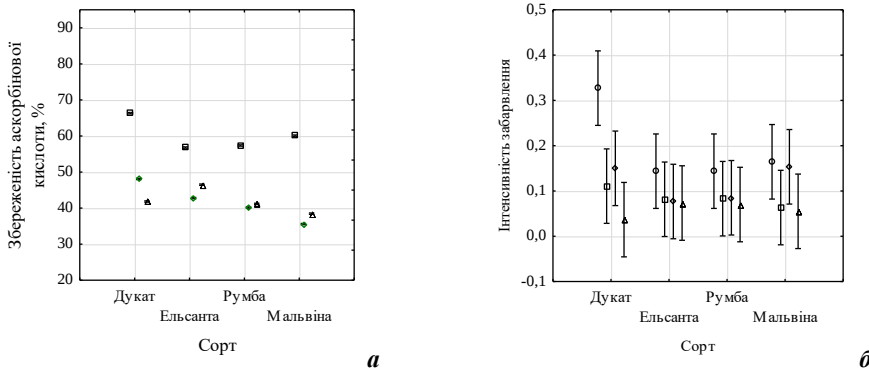


Рис. 2. Збереженість аскорбінової кислоти та інтенсивність забарвлення продуктів з суниці садової залежно від сорту та виду продукту (результати дисперсійного аналізу)

Інтенсивність забарвлення — показник, що характеризує зміну інтенсивності поглинання світла за довжин хвиль, що відповідають максимумам поглинання природними пігментами плодів та ягід. Результати дисперсійного аналізу свідчать про істотну залежність інтенсивності забарвлення свіжої суниці та продуктів з неї від особливостей сорту (рис. 2). Так, серед досліджуваних сортів найбільш інтенсивно забарвленими були свіжі ягоди суниці сортів Дукат і Мальвіна та компоти і джеми з ягід цих сортів. Серед досліджуваних видів продуктів найнижча інтенсивність забарвлення встановлена у варенні, що зумовлено більш тривалою тепловою обробкою цих продуктів.

Важливим методом оцінки якості харчових продуктів є органолептичний, що свідчить про придатність сорту для переробки. Результати дегустаційної оцінки (табл. 1) вказують на придатність для виробництва компотів ягід суниці сортів Дукат та Мальвіна, що зумовлено максимальною дегустаційною оцінкою продуктів з ягід цих сортів. Натомість, за рахунок потемніння забарвлення та підвищеної частки розварених ягід компоти з ягід суниці сортів Ельсанта та Румба отримали на 0,2—0,4 бала оцінку нижчу.

Таблиця 1. Органолептична оцінка продуктів з суниці, бал

Сорт	Зовнішній вигляд	Консистенція	Колір	Смак і аромат	Загальна оцінка
Компот					
Дукат (контроль)	4,4	4,7	4,6	4,4	4,5
Ельсанта	4,2	4,2	4,4	4,5	4,3
Румба	4,1	4,2	4,2	4,3	4,2
Мальвіна	4,5	4,8	4,6	4,5	4,6
НІР ₀₅					0,2
Джем					
Дукат (контроль)	4,7	4,4	4,7	4,6	4,6
Ельсанта	4,7	4,6	4,6	4,7	4,7
Румба	4,8	4,7	4,5	4,7	4,7
Мальвіна	4,6	4,5	4,7	4,5	4,6
НІР ₀₅					0,1
Варення					
Дукат (контроль)	4,7	4,8	4,7	4,8	4,8
Ельсанта	4,5	4,6	4,5	4,7	4,6
Румба	4,4	4,5	4,5	4,7	4,5
Мальвіна	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
НІР ₀₅					0,2

Якість джемів із суниці досліджуваних сортів істотно різнилася за показником консистенції: вищі бали отримали продукти з ягід сортів Ельсанта та Румба, що зумовлено нижчою щільністю ягід й отриманням за рахунок цього характерної консистенції.

Дегустаційна оцінка варення коливалася в межах 4,5—4,8 за максимальної у продуктах з ягід сортів Дукат і Мальвіна, що на 0,2—0,3 бала переважала значення аналогічних показників продуктів з ягід суниці сортів Ельсанта та Румба. Вказані результати отримані на підставі високої оцінки консистенції, кольору, смаку та аромату продуктів з ягід суниці цих сортів.

Висновки

Якість досліджуваних продуктів з ягід суниці істотно залежить від помологічного сорту ягід і виду продукту, відрізняючись за збереженістю аскорбінової кислоти, інтенсивністю забарвлення й органолептичною оцінкою. За комплексом зазначених показників для виробництва компотів і варення найбільш придатними є ягоди суниці сортів Дукат і Мальвіна, а джемів — Ельсанта та Румба.

Література

Прокопенко, О. (Ред.). (2023). Сільське господарство України: статистичний збірник за 2022 рік. Державна служба статистики України. https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ17_u.htm.

Cervantes, L., Ariza, M. T., Miranda, L., Lozano, D., Medina, J. J., Soria, C., & Martínez-Ferri, E. (2020). Stability of fruit quality traits of different strawberry varieties under variable environmental conditions. *Agronomy*, 10(9), 1242. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091242>.

Brownmiller, C., Howard, L. R., & Prior, R. L. (2009). Processing and storage effects on procyanidin composition and concentration of processed blueberry products. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(5), 1896—1902.

Cockerton, H. M., Karlström, A., Johnson, A. W., Li, B., Stavridou, E., Hopson, K. J., ... , & Harrison, R. J. (2021). Genomic informed breeding strategies for strawberry yield and fruit quality traits. *Frontiers in Plant Science*, 2102. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.724847>.

Cruz-Rus, E., Amaya, I., Sanchez-Sevilla, J. F., Botella, M. A., & Valpuesta, V. (2011). Regulation of L-ascorbic acid content in strawberry fruits. *Journal of Experimental Botany*, 62(12), 4191—4201. <https://doi.org/10.1093/jxb/err122>.

Denaxa, N. K., Nomikou, A., Malamos, N., Liveri, E., Roussos, P. A., Papasotiropoulos, V. (2022). Salinity effect on plant growth parameters and fruit bioactive compounds of two strawberry cultivars, coupled with environmental conditions monitoring. *Agronomy*, 12(10), 2279. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102279>.

Diamanti, J., Balducci, F., Di Vittori, L., Capocasa, F., Berdini, C., Bacchi, A., ... , & Mezzetti, B. (2015). Physico-chemical characteristics of thermally processed purée from different strawberry genotypes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 43, 106—118. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.05.006>.

Diamanti, J., Mazzoni, L., Balducci, F., Cappelletti, R., Capocasa, F., Battino, M., ... , & Mezzetti, B. (2014). Use of wild genotypes in breeding program increases strawberry fruit sensorial and nutritional quality. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(18), 3944-3953. <https://doi.org/10.1021/jf500708x>.

FAO. Available from: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>.

Husaini, A. M., & Neri, D. (Eds.). (2016). *Strawberry: growth, development and diseases*. CABI. <https://doi.org/10.1079/9781780646633.0000>.

Poiana, M. A., Moigradean, D., Dogaru, D., Mateescu, C., Raba, D., & Gergen, I. (2011). Processing and storage impact on the antioxidant properties and color quality of some low sugar fruit jams. *Romanian Biotechnological Letters*, 16(5), 6504—6512.

Oğuz, İ., Oğuz, H. İ., Kafkas, N. E. (2022). *Strawberry cultivation techniques*. In *Strawberries*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.104611>.

Pisoschi, A. M., Pop, A., Serban, A. I., & Fafaneata, C. (2014). Electrochemical methods for ascorbic acid determination. *Electrochimica Acta*, 121, 443—460. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2013.12.127>.

Qaderi, R., Mazzoni, L., Capocasa, F., Balducci, F., Marcellini, M., Pergolotti, V., ... , & Mezzetti, B. (2022, August). Effect of wild genotype on strawberry fruit nutritional quality in UNIVPM breeding program. In XXXI International Horticultural Congress (IHC2022): International Symposium on Advances in Berry Crops 1381 (pp. 45—52). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1381.6>.

Terefe, N. S., Kleintschek, T., Gamage, T., Fanning, K. J., Netzel, G., Versteeg, C., & Netzel, M. (2013). Comparative effects of thermal and high pressure processing on phenolic phytochemicals in different strawberry cultivars. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 19, 57—65. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.05.003>.

Terefe, N. S., Buckow, R., & Versteeg, C. (2014). Quality related enzymes in plant based products: Effects of novel food processing technologies. Part 1. High pressure processing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 54, 24—63. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.566946>.

Teribia, N., Buvé, C., Bonerz, D., Aschoff, J., Goos, P., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2021). The effect of thermal processing and storage on the color stability of strawberry puree originating from different cultivars. *Lwt*, 145, 111270. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111270>.

STUDY OF OXIDATIVE PROCESSES OF SEMI-COOKED SAUSAGES IN MODIFIED CASINGS

V. Tischenko

Sumy National Agrarian University

N. Bozhko

Sumy State University

V. Pasichnyi, S. Bozhko, A. Marynin

National University of Food Technologies

Key words:

Packaging

Sausage casing

Berry extracts

Semi-smoked sausages

Article history:

Received 15.01.2024

Received in revised form
31.01.2024

Accepted 19.02.2024

Corresponding author:

V. Pasichnyi

E-mail:

pasww1@ukr.net

Citation: В. І. Тищенко, Н. В. Божко, В. М. Пасічний, С. Б. Божко, А. І. Маринін (2024). Дослідження динаміки окислювальних процесів напівкопчених ковбас у модифікованих оболонках. *Наукові праці НУХТ*, 30(1), 161—170.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-1-16

ABSTRACT

A scientific justification of improvement the technological process of semi-smoked sausage production by treating natural casings with biologically active antioxidant substances to improve the quality of stored products is provided in the article. It became possible to reduce the level of oxidative spoilage of meat products thanks to the introduction of plant extracts into packaging materials, including sausage casings. The effectiveness of using natural berry extracts in preparing a natural casing to inhibit the process of oxidative spoilage of sausages was studied. The subject of the study were model samples of semi-smoked sausages in a natural casing, which during the cooking process were treated with 4% extracts obtained from the fruits of blueberries, mountain ash and cranberries. Salted casings were free from salt, washed in cold running water for 10—15 minutes and soaked in water with the addition of 4% solution of extracts for 2 hours (temperature from 20 to 30 °C). The control was a semi-smoked sausage in a natural casing, which was prepared in accordance with the traditional method. The casing of the first experimental sample of sausages was treated with the addition of cranberry extract, the second — black chokeberry extract and the third — blueberry extract. During experiment to control oxidation processes with a periodicity of 5 days, the following indicators were determined in the stored products: acid number, peroxide number, thiobarbituric number.

It was established that the use of cranberry, chokeberry and blueberry extracts in the process of preparing natural shells at a concentration of 4% by weight of the raw material slows down the oxidation of lipids at all stages of this biochemical process. It was found that the processing of natural casings with berry extracts allows to slow down the accumulation of free fatty acids in semi-smoked sausages by 85.42—197.25%, reduce the formation of peroxide radicals by 1.77—5.31 times and reduce the concentration of secondary oxidation products by 35.84—44.8%.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ОКИСЛЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ НАПІВКОПЧЕНИХ КОВБАС У МОДИФІКОВАНИХ ОБОЛОНКАХ

В. І. Тищенко

Сумський національний аграрний університет

Н. В. Божко

Сумський державний університет

В. М. Пасічний, С. Б. Божко, А. І. Маринін

Національний університет харчових технологій

У статті наведено наукове обґрунтування необхідності удосконалення технологічного процесу виробництва напівкопчених ковбас шляхом обробки натуральних оболонкок біологічно активними антиоксидантними речовинами з метою підвищення якості продукції, що зберігається. Знизити рівень окисного псування м'ясних продуктів стало можливим завдяки введенню рослинних екстрактів у пакувальні матеріали, зокрема в ковбасні оболонки. Вивчено ефективність використання натуральних екстрактів ягід при приготуванні натуральної оболонки для гальмування процесу окисного псування напівкопчених ковбас. Предметом дослідження були модельні зразки напівкопчених ковбас у натуральній оболонці, які в процесі приготування оброблені 4% екстрактами, отриманими з плодів чорниці, горобини звичайної та журавлини. Солені оболонки звільняли від солі, промивали в холодній проточній воді протягом 10–15 хв і замочували у воді з додаванням 4% розчину екстрактів на 2 год (температура від 20 до 30 °C). Контролем була напівкопчена ковбаса в натуральній оболонці, яку готували за традиційною інструкцією. Оболонка першого дослідного зразка ковбасних виробів була оброблена додаванням екстракту журавлини, другого — екстракту чорноплодної горобини, третього — екстракту чорниці. Під час експерименту для контролю процесу окиснення з періодичністю 5 діб у продуктах, що зберігалися, визначали такі показники: кислотне число, перекисне число, тіобарбітурове число.

Встановлено, що використання екстрактів журавлини, горобини та чорниці в процесі приготування натуральних оболонкок у концентрації 4% від маси сировини уповільнює окиснення ліпідів на всіх етапах цього біохімічного процесу. Обробка натуральних оболонкок екстрактами ягід дає змогу уповільнити накопичення вільних жирних кислот у напівкопчених ковбасах на 85,42–197,25%, зменшити утворення перекисних радикалів у 1,77–5,31 раза, концентрацію вторинних продуктів окислення — на 35,84–44,8%. Доведено, що найбільшого ефекту можна досягти при застосуванні екстракту чорниці.

Ключові слова: пакування, ковбасна оболонка, екстракти ягід, напівкопчені ковбаси.

Постановка проблеми. Поняття «якість харчового продукту» нерозривно пов'язано з терміном його придатності, а відповідно, і безпечності. Обґрунтування

термінів зберігання потребує системного аналізу сировини, типів пакувальних матеріалів і може бути реалізоване шляхом систематизації виробничого досвіду, оптимізаційного моделювання й аналізу результатів промислових досліджень. Актуальною проблемою є дослідження впливу умов виробництва, розробка нових технологічних прийомів пакування, удосконалення умов зберігання м'ясних виробів для виробництва високоякісної, конкурентоспроможної і безпечної продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сприяти подовженню термінів зберігання м'ясопродуктів можливо шляхом широкого застосування активного пакування, яке є однією з нових концепцій упаковки харчових продуктів та відповідає запиту споживачів і тенденції ринку (Ribeiro-Santos та ін., 2020; Barbosa-Pereira та ін., 2014; Михайлов та ін., 2021). Ковбасні оболонки є частиною технологічного процесу, а також упаковкою для зберігання ковбасних виробів. Функціонально-технологічне призначення оболонки визначається як надання ковбасному виробу певної форми та виконання захисних функцій (Firouz, Mohi-Alden, & Omid, 2021).

За технологічними вимогами оболонки для ковбас повинні бути міцними, розширюватися та не руйнуватися при термічній обробці. Цим вимогам відповідають натуральні оболонки, їх виробляють з оброблених яловичих, свинячих і баранячих кишок. Натуральні оболонки високої якості є дуже дорогим пакувальним матеріалом і мають більшу вартість, ніж штучні, особливо це стосується баранячих і яловичих оболонок.

Останнім часом в Україні натуральні ковбасні оболонки представлені переважно продукцією іноземних виробників, якість якої в багатьох випадках поступається вітчизняній. Загалом, в Україні співвідношення імпоротної кишкової сировини до вітчизняної становить 90% до 10%.

На вітчизняному ринку сьогодні натуральні оболонки представляють в основному такі компанії: «Агро-смак», «Агровектор», «Ариво-пром», «Биостар», «Елит Трейд», «Калибри», «Лито Лтд», «Меридіан-2010» (ПП), «Nozar Bagirsag» (офіційний представник в Україні ПП «Нубар», м. Київ), «Стар-Україна», «Ярослав» (ПП), «Південно-Східна Торговельна Компанія», «Юкрейн-Кейсинг-Трейд» (Onishchenko та ін., 2021; Mykhailov та ін., 2016; Давидова, & Зозульов, 2019).

Натуральні кишкові оболонки надходять у ковбасний цех, як правило, в соленому або сухому вигляді. Засолені оболонки звільняють від солі, промивають у холодній проточній воді протягом 10—15 хв і замочують у воді температурою від 20 до 30 °C упродовж 2 годин. Після цих кроків можна приступати до заповнення ковбасних оболонок. Підготовані натуральні оболонки повинні бути використані в ковбасному виробництві протягом робочої зміни.

За результатами досліджень (Кисленко, & Онищенко, 2019) встановлено, що несолоні (розмочені після соління) фабрикати свинячих черев містять 88,0—91,0% вологи, 4,5—6,0% білка та від 0,7 до 1,8% жиру, що не виключає можливості окислення.

У науково-практичній літературі наведено результати досліджень у галузі оцінки газопроникності натуральних оболонок, досліджено їхні захисні властивості від забруднення та впливу мікроорганізмів. Також є певні напрацювання стосовно

методів обробки натуральних оболонкок в ході їхньої підготовки натуральними та синтетичними речовинами для подовження терміну зберігання виробів.

Серед кишкових оболонок свинячі мають найменшу товщину, найбільш виражену пористу структуру, невеликий діаметр порівняно з іншими видами кишкової сировини, що зумовлює необхідність підвищення рівня їх захисних функцій (Сухенко та ін., 2021; Михайлов та ін., 2019)).

У будь-якому харчовому продукті під час реалізації та зберігання відбуваються фізико-хімічні, мікробіологічні, гідролітичні та окислювальні процеси, здатні привести до зміни його якості. Для м'ясної продукції однією із основних причин зміни якості та псування є розвиток у продукті окислювальних процесів, що викликає зміну складу жирів і призводить не тільки до зниження органолептичних характеристик продуктів (кольору, запаху, смаку, консистенції), але й до більшої втрати ненасичених, зокрема незамінних, жирних кислот.

Відомо, що ступінь інтенсивності гідролітичного розпаду жирів залежить від вмісту води в продукті, температури середовища, величини рН, активності ліполітичних ферментів ступеня диспергування жиру. В результаті ступінчатого гідролізу відбувається розщеплення тригліцеридів до ди- і моногліцеридів, а також утворення вільних жирних кислот, накопичення яких у продуктах сприяє окислювальному псуванню. Внаслідок цього продукти втрачають харчову цінність, у них руйнуються жиророзчинні вітаміни, знижується вміст ненасичених жирних кислот, а також можуть накопичуватись токсичні і канцерогенні для організму людини речовини, такі як гідропероксиди, радикали та епоксиди (Halagarda, & Wójciak, 2022; Bozhko, Tishchenko, & Pasichnyi, 2019; Bozhko та ін., 2020).

Слід зазначити, що зниження органолептичних властивостей спостерігається не тільки при тривалому збереженні продукції. Прогірклий або осалений присмак може з'являтися в термічно оброблених виробках навіть при короткочасному холодильному зберіганні протягом 48 годин.

У науково-технічній літературі приділяється досить багато уваги комплексному вивченню факторів, що визначають стійкість харчових продуктів, в тому числі і ковбасних виробів, до окисних процесів. Найбільш поширеним шляхом вирішення проблеми окиснювального псування м'ясопродуктів є застосування різноманітних антиокислювальних харчових добавок, що дають змогу цілеспрямовано регулювати процеси окиснення ліпідної фракції м'ясних систем (Bozhko та ін., 2017; Kiarsi, 2020). При цьому основними чинниками визнаються якісний і хімічний склад, ступінь зневоднення, значення рН, концентрація коптильних речовин, вміст консервантів, консистенція продукту, а також вид оболонки тощо.

Знизити рівень окиснювального псування м'ясопродуктів стало можливим завдяки введенню до пакувальних матеріалів, зокрема і ковбасних оболонок, рослинних екстрактів. Цей технологічний прийом надає можливість створити новий вид упаковки, що має назву «активна упаковка» (Ribeiro-Santos та ін., 2018; Barbosa-Pereira та ін., 2014).

Встановлено (Кисленко, & Онищенко, 2019), що обробка свинячих черев на етапі їх підготовки водними розчинами метилцелюлози дає змогу підвищити вихід ковбаси смаженої. При цьому властивість утворювати стійку плівку характерна для метилцелюлози в умовах вологого середовища за температури вище

56 °С, а в'язкість розчинів метилцелюлози є причиною технологічних ускладнень під час наповнення.

Вивчено вплив модифікації кишкових оболонок водними витяжками шавлії, деревини та шипшини, при цьому заготівля рослинної сировини, підготовка водних витяжок відчутно підвищує собівартість технології (Сухенко та ін., 2021). За визначенням автора, натуральна оболонка характеризується високою проникністю, покращує органолептичні показники ковбасних виробів і збільшує термін зберігання продукту.

Доведена ефективність застосування рослинних екстрактів чебрецю та розмарину в концентрації 2, 4 та 6% під час розробки активного пакування для упаковки ковбас (Barbosa-Pereira та ін., 2014).

Для ковбасного виробництва запропоновано активні плівки на основі сироваткового протеїну, екстракт розмарину та кориці (Sandhu, 2019; Farhadi, & Javanmarddakheli, 2022), а також рекомендована обробка оболонок екстрактом розмарину та зеленого чаю (Farhadi, & Javanmard, 2023).

Ефект від включення рослинних екстрактів у натуральні ковбасні оболонки при виготовленні ковбас у промислових умовах спостерігали автори (Yemenicioglu, 2022; Velemir, Mandić, & Savanović, 2022; Demirok Soncu, 2018). Встановлено, що оброблені рослинними екстрактами оболонки не лише забезпечували високі органолептичні показники готових виробів, а також сприяли подовженню терміну зберігання продукту. На думку авторів, це особливо важливо при виготовленні ферментованих і напівкопчених ковбас у натуральній оболонці.

Мета дослідження: визначення ефективності використання природних екстрактів у процесі підготовки натуральної оболонки (череві свинячої) для гальмування процесу окисного псування ковбас і, як наслідок, збільшення термінів зберігання.

Матеріали і методи. Предметом досліджень були модельні зразки напівкопчених ковбас у натуральній оболонці, яку в процесі підготовки обробляли екстрактами (4%), отриманими з плодів чорниці, чорноплідної горобини та журавлини. Засолені оболонки звільняли від солі, промивали у холодній проточній воді протягом 10—15 хв і замочували впродовж 2 год у воді за температури 20 до 30 °С з додаванням 4% розчину екстрактів.

Ковбаси виготовляли за традиційною технологією відповідно до рецептури напівкопченої ковбаси «Українська» перший сорт (ДСТУ 4435.2005).

До складу фаршу дослідних ковбас входили: яловичина знежирована II сорту — 50 %; свинина знежирована напівжирна — 25%; грудинка свиняча — 25%; борошно пшеничне — 2%; крохмаль — 1%, а також сіль кухонна, нітрит натрію та прянощі.

Наповнені фаршем оболонки піддавали осадженню протягом 2—4 год при температурі +8...10 °С та обжарювали (1—1,5 год при температурі +60...90 °С). Варіння проводили протягом 40—60 хв при температурі 75...80 °С. Далі ковбасні батони піддавали копченню при температурі 35...50 °С протягом 12—24 год та сушінню при температурі +12...15 °С протягом 2—4 годин. Зберігали ковбаси за температури до 8 °С до 15 діб.

Контролем слугувала виготовлена партія напівкопченої ковбаси в натуральній оболонці, яку готували до використання відповідно до традиційної інструкції.

Оболонка для ковбас першої дослідної партії була оброблена з додаванням екстракту журавлини (ЕЖ), друга — екстракту горобини чорноплідної (ЕГ), третя — екстракту чорниці (ЕЧ).

Під час досліджень для контролю окислювальних процесів з періодичністю 5 діб у виробках, що зберігалися, визначали такі показники: кислотне число (Bozhko та ін., 2017), пероксидне число (Bozhko, Tishhenko, & Pasichniy, 2017), тіобарбітурове число (Bozhko, & Tischenko, 2023).

Викладення основних результатів дослідження. Контроль окисних процесів є досить важливим для м'ясної промисловості, тому що під час цих реакцій відбувається сенсорне псування продукту, втрата поживних речовин, що призводить до утворення токсичних сполук. Натуральні екстракти ягід можуть бути ефективними заміниками синтетичних антиокислювальних речовин для використання у м'ясній індустрії. Для досліджень обрали сухі натуральні екстракти вітчизняного виробництва.

Результати досліджень перебігу окисних процесів у готових виробках наведено в табл. 1—3.

Таблиця 1. Динаміка накопичення вільних жирних кислот у напівкопченій ковбасі в процесі зберігання

Термін зберігання, діб	Кислотне число, мг КОН			
	Контроль	ЕЖ	ЕГ	ЕЧ
1 доба	0,226±0,018	0,226±0,018	0,226±0,018	0,226±0,018
5 доба	0,487±0,021	0,311±0,021	0,301±0,019	0,203±0,033
10 доба	0,693±0,031	0,436±0,011	0,387±0,013	0,370±0,022
15 доба	1,730±0,030	0,933±0,033	0,671±0,032	0,582±0,068

Величина кислотного числа демонструє інтенсивність перебігу першого етапу окиснення жирів — гідроліз триацилгліцеролів на вільні жирні кислоти і гліцери. Аналіз табл. 1 показує, що на початку експерименту цей процес знаходився на одному рівні у всіх зразках і становив 0,226±0,018 мг КОН. Проте через 5 діб була помітна суттєва різниця між дослідним партіями. Так, найменше значення КЧ було у дослідній партії 3, яка виготовлялась із застосуванням екстракту чорниці. Ступінь гідролізу жиру в цьому дослідному зразку становив 0,203±0,033 мг КОН, що складало 41,68% від КЧ в контрольній партії. Значно нижче значення КЧ мало і в інших дослідних зразках. Аналогічна тенденція спостерігалася до кінця терміну зберігання. На 15 добу зберігання КЧ в дослідних ковбасах коливалось від 0,582±0,068 мг КОН (ЕЧ) до 0,933±0,033 мг КОН (ЕЖ), тоді як у контрольній партії його величина становила 1,730±0,030 мг КОН, що на 85,42—197,25% вище. Встановлено, що кращий позитивний ефект на перебіг окислювальних процесів у ході зберігання напівкопченої ковбаси дала обробка оболонок екстрактом чорниці.

Пероксидне число визначає перебіг другої фази окислювальних процесів у ліпідах харчових продуктів — перекисне окислювання вільних жирних кислот. Результати досліджень зміни пероксидного числа у партіях напівкопченої ковбаси під час терміну зберігання наводяться у табл. 2.

Таблиця 2. Динаміка накопичення пероксидів жиру у напівкопченій ковбасі в процесі зберігання

Термін зберігання, діб	Перекисне число, % J ₂			
	Контроль	ЕЖ	ЕГ	ЕЧ
1 доба	0,005±0,001	0,005±0,001	0,005±0,001	0,005±0,001
5 доба	0,027±0,002	0,013±0,003	0,007±0,003	0,005±0,001
10 доба	0,063±0,003	0,025±0,003	0,015±0,005	0,009±0,001
15 доба	0,069±0,009	0,039±0,003	0,017±0,003	0,013±0,001

Як бачимо з табл. 2, на початку експерименту в усіх зразках була відмічена дуже низька концентрація пероксидів. Проте вже на 5 добу зберігання цей показник почав зростати. ПЧ в дослідних зразках коливалось від 0,005±0,001% J₂ в зразку ЕЧ до 0,013±0,003% J₂ в зразку, обробленому екстрактом журавлини. В контрольній партії пероксидне число було найвищим і становило 0,027±0,002% J₂. Це свідчить про те, що вже на початку терміну зберігання екстракти мають достатньо високу ефективність і гальмують як гідроліз, так і перекисні окислення ліпідів ковбасних виробів. У кінці терміну зберігання концентрація продуктів перекисного окислення ліпідів напівкопчених ковбас у партії без застосування антиоксидантів була вищою в 1,77—5,31 раза порівняно з ковбасами, оболонки яких обробляли екстрактами ягід.

Ковбасні оболонки, оброблені екстрактом чорниці, продемонстрували більший антиоксидантний ефект порівняно з оболонками, обробленими іншими екстрактами. Пероксидне число зразка ЕЧ на 15 добу зберігання становило 0,013±0,001% J₂, що в 5,31 раза нижче порівняно з контрольною партією.

Ефективність антиоксидантної дії екстракту чорниці в технології напівкопчених ковбас узгоджується з даними, наведеними в (Babaoglu та ін., 2022). Це пояснюється наявністю різноманітних поліфенольних сполук у чорниці, які мають високу антиокислювальну активність (Peiretti та ін., 2020).

На ранніх стадіях окислення використання пероксидів як індикатора окислювального псування призводить до недооцінки ступеня окислення (Ross, & Smith, 2006), тому цей параметр не гарантовано надійний у м'ясі з високим ступенем окислення. Хоча величина перекису є широко використовуваним параметром для визначення ступеня окислення, вона ефективна лише на початкових стадіях окислювальних процесів (Agregán та ін., 2018).

Для встановлення ступеня накопичення вторинних продуктів окислення в останній день зберігання зразків ковбас було досліджено ТБЧ, результати якого представлені на рисунку.

Як бачимо з рисунка, найбільшого критичного значення ТБЧ досягло у партії ковбас без використання антиоксидантів — 0,466±0,001 мг МА/кг. У дослідних партіях це значення було значно менше. Так, найменша концентрація вторинних продуктів окислення спостерігалася у напівкопчених ковбасах, у технології пакування яких застосовували екстракт чорниці, вона становила 0,217±0,001 мг МА/кг, що на 53,43% менше порівняно з контрольною партією. Дослідні партії ковбас,

що оброблялися екстрактами чорноплідної горобини і журавлини, також відрізнялися меншою концентрацією продуктів окислення ліпідів. У кінці терміну зберігання ТБЧ дослідних зразків ЕЖ і ЕГ коливалися від $0,299 \pm 0,003$ до $0,258 \pm 0,001$ мг МА/кг, що також на 35,84—44,8% менше порівняно з контролем.

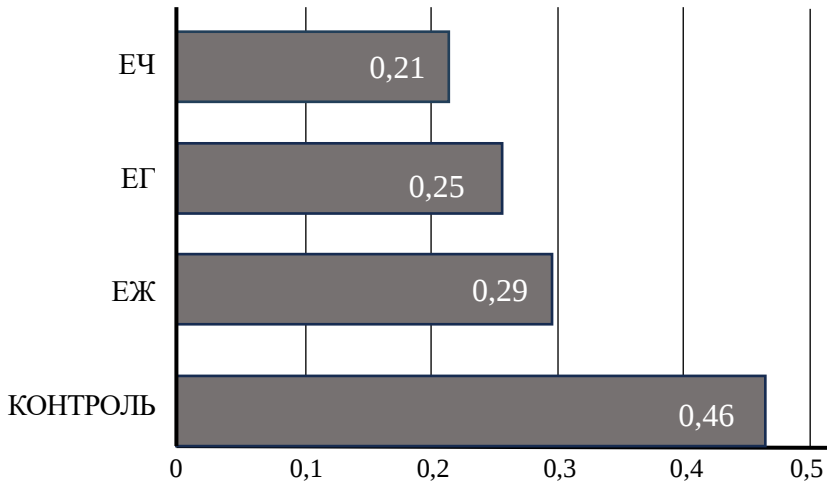


Рис. Концентрація вторинних продуктів окислення, що реагують з тіобарбітуровою кислотою в напівкопченій ковбасі на 15 добу зберігання, мг МА (малонового альдегіду)/кг

Висновки

Встановлено, що використання в процесі підготовки натуральних оболонок екстрактів журавлини, чорноплідної горобини і чорниці в концентрації 4% до маси сировини уповільнює окислення ліпідів на всіх стадіях цього біохімічного процесу. Оброблення натуральних оболонок екстрактами ягід дає змогу уповільнити накопичення вільних жирних кислот у напівкопчених ковбасах на 85,42—197,25%, знизити утворення пероксидних радикалів в 1,77—5,31 раза і зменшити концентрацію вторинних продуктів окислення на 35,84—44,8%. Доведено, що найбільшого ефекту можна досягти при використанні екстракту чорниці.

Подальші дослідження будуть спрямовані на обґрунтування використання удосконаленої технології підготовки натуральної оболонки для напівкопчених ковбас з більшою часткою поліненасичених жирних кислот у складі рецептур.

Література

Давидова, О. Б., Зозульов, О. В. (2019). Сучасний стан ринку харчових оболонок: основні особливості. *Актуальні проблеми економіки та управління: збірник наукових праць молодих вчених*, 13, 1—16. Взято з <http://ape.fmm.kpi.ua/article/view/170171>.

Кисленко Д. О., Онищенко В. М. (2021). *Актуальність формування захисних властивостей оболонок смажених ковбас*. Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених. Харків: ХДУХТ. 48. Взято з https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/22180/1/tk1_08.04.21-48.pdf.

Михайлов В. М., Онищенко В. М., Большакова В. А., Інжиянц С. Т. (2019). Зміни структурно-механічних властивостей склеєних кишкових оболонок смажених ковбас. *Прогресивні*

техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. Х.: ХДУХТ. 2 (30), 156–167. Взято з <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/3082>.

Михайлов В. М., Онищенко В. М., Янчева М. О., Шубіна Л. Ю. (2021). Дослідження захисних властивостей і безпечності кишкових ковбасних оболонкок: монографія. Харків: ХДУХТ. Взято з <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/21615>.

Сухенко Є. В., Штонда О. А., Солдатов Д. К., Сухенко В. Ю. (2021). Подовження терміну зберігання напівкопчених ковбас типу «Краківська» за рахунок обробки екстрактом водного прополісу компанії ТОВ «ПЧЕЛОПРОДУКТ». *Продовольчі ресурси*. 17, 157–164. <https://doi.org/10.31073/foodresources2021-17-16>.

Agregán, R., Franco, D., Carballo, J., Tomasevic, I., Barba, F. J., Gómez, B., Muchenje, V., Lorenzo, J. M. (2018). Shelf life study of healthy pork liver pâté with added seaweed extracts from *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* and *Bifurcaria bifurcata*. *Food research international journal*, 112, 400–411. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.063>.

Babaoğlu, A. S., Unal, K., Dilek, N. M., Poçan, H. B., Karakaya, M. (2022). Antioxidant and antimicrobial effects of blackberry, black chokeberry, blueberry, and red currant pomace extracts on beef patties subject to refrigerated storage. *Meat Science*, 187, 108765. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108765>.

Barbosa-Pereira, L., Aurrekoetxea, G. P., Angulo, I., Paseiro-Losada, P., & Cruz, J. M. (2014). Development of new active packaging films coated with natural phenolic compounds to improve the oxidative stability of beef. *Meat Science*, 97(2), 249–254. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.02.006>.

Barbosa-Pereira, L., Aurrekoetxea, G. P., Angulo, I., Paseiro-Losada, P., Cruz, J. M. (2014). Development of new active packaging films coated with natural phenolic compounds to improve the oxidative stability of beef. *Meat Science*, 97(2), 249–254. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.02.006>.

Bozhko, N., Pasichnyi, V., Marynin, A., Tischenko, V., Strashynskiy, I., Kyselov, O. (2020). The efficiency of stabilizing the oxidative spoilage of meatcontaining products with a balanced fat-acid composition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (11(105)), 38–45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205201>.

Bozhko, N., Tischenko, V. (2023). Effect of plant extracts rich in polyphenols on lipid oxidation in smoked sausages. *Publishing House “Baltija Publishing”*, 1–24. ISBN: 978-9934-26-297-5.

Bozhko, N., Tischenko, V., Pasichnyi, V., Marynin, A., Polumbryk, M. (2017). Analysis of the influence of rosemary and grape seed extracts on oxidation the lipids of peking duck meat. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (11(88)), 4–9. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108851>.

Bozhko, N., Tischenko, V., Pasichnyi, V., Marynin, A., Polumbryk, M. (2017). Study of oxidation processes in duck meat with application of rosemary and grape seed extracts. *EUREKA: Life Sciences*, 4, 10–15. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2017.00374>.

Bozhko, N., Tishchenko V., Pasichnyi V., Svyatnenko R. (2019). Effectiveness of natural plant extracts in the technology of combined meatcontaining breads. *Ukrainian Food Journal*, 8 (3), 522–532. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2019-8-3-9>.

Bozhko, N., Tishchenko, V., Pasichnyi, V. (2017). Ekstrakt zhuravlini v tehnologii varenih kovbas z myasom vodoplavnoiptyci. *Naukoviy visnyk LNUVMBT imeni SZ Ghzyckogo*, 19(75), 106–109. <https://doi.org/10.15421/nvlvet7521>.

Demirok Soncu E., Arslan B., Ertürk D., Küçükkaya S., Özdemir, N., Soyer, A. (2018). Microbiological, physicochemical and sensory characteristics of Turkish fermented sausages (sucuk) coated with chitosan-essential oils. *LWT-Food Science and Technology*, 97. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.049>.

Farhadi S., Javanmarddakheli M. (2022). Development of fibrous casings with natural antioxidants using rosemary and thyme extracts in dried sausages. *Journal of Food and Bioprocess Engineering*, 1, 100–108. [10.22059/JFABE.2022.344339.1117](https://doi.org/10.22059/JFABE.2022.344339.1117).

Farhadi, S., Javanmard, M. (2023). Development of fibrous casings based on sugarcane bagasse with natural antioxidant using rosemary and thyme extract in dried sausages. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(3), 2475—2487. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01782-8>.

Firouz, M. S., Mohi-Alden, K., Omid, M. (2021). A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development. *Food Research International*, 141, 110113. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110113>.

Halagarda, M., Wójciak, K. M. (2022). Health and safety aspects of traditional European meat products. A review. *Meat Science*, 184, 108623. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108623>.

Kiarsi, Z., Hojjati, M., Behbahani, B. A., Noshad, M. (2020). In vitro antimicrobial effects of Myristica fragrans essential oil on foodborne pathogens and its influence on beef quality during refrigerated storage. *Journal of Food Safety*, 40(3), e12782. <https://doi.org/10.1111/jfs.12782>.

Mykhailov V., Onishchenko V., Ostroverkh Ir., Bolshakova V., Skurihina L. (2016). Permeability evaluation of natural sausage casings. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(3(32), 22—27. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.85584>.

Peiretti, P. G., Gai, F., Zorzi, M., Aigotti, R., Medana, C. (2020). The effect of blueberry pomace on the oxidative stability and cooking properties of pork patties during chilled storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(7), e14520. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14520>.

Ribeiro-Santos, R., de Melo, N. R., Andrade, M., Azevedo, G., Machado, A. V., Carvalho-Costa, D., Sanches-Silva, A. (2018). Whey protein active films incorporated with a blend of essential oils: Characterization and effectiveness. *Packaging Technology & Science*, 31(1), 27—40. <https://doi.org/10.1002/pts.2352>.

Ross, C. F.; Smith, D. M. (2006). Use of volatiles as indicators of lipid oxidation in muscle foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5, 18—25. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.tb00077.x>.

Sandhu, S., Arpa, A., Chen, X., Kumar, R., Jaworski, J. (2019). Engineering bacterial cellulose for diverse biomedical applications. *Recent Progress in Materials*, 1(4), 30—38. <https://doi.org/10.21926/rpm.1904006>.

Velemir, A., Mandić, S., Savanović, D. (2022). Effect of incorporation of the plant extracts in natural casing on the color of fermented sausages. *Journal of chemists, technologists and environmentalists*, 3(1), 20—26. <https://doi.org/10.7251/JCTE2203020V>.

Yemenicioğlu, A. (2022). *Edible Food Packaging with Natural Hydrocolloids and Active Agents*. CRC Press. 108 p. <https://doi.org/10.1201/9780429329890>.

Onishchenko, V., Pak A., Goralchuk, A., Shubina L., Bolshakova V., Inzhyyants S., Pak A., Domanova O. (2021). Investigation of Hygroscopic Properties and Porosity of Glued Reinforced Sausage Casings. *EUREKA: Life Sciences*, 1, 31—36. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2021.001632>.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» запрошує вас до публікації наукових праць (<http://sw.nuft.edu.ua>).

До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Автор, який подає матеріали до друку, зберігає за собою всі авторські права та надає відповідному виданню право першої публікації, дозволяючи розповсюджувати матеріал із зазначенням авторства й джерела первинної публікації, а також погоджується на розміщення її електронної версії на сайті Національної бібліотеки ім. В. І. Вернадського та у відкритому доступі в електронній мережі університету. Автор надає право редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути видана лише одна стаття автора (як власна, так і в співавторстві).

На електронну адресу журналу (prnuht@ukr.net) необхідно надіслати такі документи:

- файл статті;
- рецензію доктора наук певної галузі (за тематичною спрямованістю статті). Якщо один із авторів статті є доктором наук, то рецензія необов'язкова;
- заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті подаються у вигляді вичитаних роздручків на папері формату A4 (поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word). У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані.

Обсяг дослідницької статті має бути не менше 10 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). У дослідницькій статті має бути проаналізовано не менше 15 джерел. Обсяг оглядової статті має бути не менше 25 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). В оглядовій статті повинно бути проаналізовано не менше 40 джерел.

ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ

1. Індекс УДК.
2. Назва статті (англійською та українською мовами).
3. Ініціали та прізвища авторів англійською та українською мовами.
4. Анотація англійською та українською мовами (не менше 1800 символів з пробілами). Анотація має бути максимально інформативною, це окремий текстовий документ, у якому лаконічно викладені результати дослідження. У тексті анотації не варто використовувати загальні фрази, вказувати несуттєві деталі й загальновідомі положення. Також слід уникати прямих 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, на які спирається автор;
 - формулювання мети статті;
 - викладення основних результатів дослідження;
 - висновки і перспективи подальших наукових досліджень.
7. Після тексту статті в алфавітному порядку наводиться список літературних. **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.

У статті мають бути проаналізовані напрацювання вчених з усього світу. На основі аналізу сучасних статей з англomовних журналів має бути доведена актуальність теми у світі, визначені питання, які потребують вирішення, сформульована мета дослідження.

9. 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.

10. Ілюстрації (креслення, рисунки, схеми, діаграми) мають бути розміщені в тексті. **Обов'язковою вимогою** є надсилання оригінальних файлів рисунків, створених у програмах-редакторах Corel Draw X6, Origin. Всі елементи рисунка (типи, товщина і колір ліній, шрифт текстів тощо) мають вільно редагуватися у наявному програмному забезпеченні). Рисунки в растрових форматах (bmp, gif, jpeg, tif) або у форматі pdf не приймаються до розгляду, оскільки не можуть вільно редагуватися. **Вимоги до оформлення рисунків:** вісь координат — 0,2 мм, без сітки, сам рисунок (наприклад, крива) — 0,35 мм, текст в рисунку — Times New Roman 9,5, ширина рисунка — до 13 см. Всі рисунки мають бути чорно-білими. Підписи до рисунків набираються безпосередньо під рисунками прямим напівжирним шрифтом.

Фотографії мають бути чіткими та контрастними (формати TIF, JPG з роздільною здатністю 300 dpi), розмірами 6×9. Фотографії друкуються в разі крайньої потреби, якщо наведена на них інформація має значну наукову цінність. Авторам краще завантажити фотографії у хмарний сервіс і в списку літератури дати на них посилання.

11. Математичні формули повинні бути роздруковані з правильним виділенням верхніх і нижніх індексів. Нумерація формул здійснюється арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки. Індеси від скорочених українських слів друкуються прямим шрифтом малими літерами. В індексах, що складаються з двох скорочених слів, після першого скороченого слова ставиться крапка, після другого — крапка не ставиться. Цифри в індексах також друкуються прямим шрифтом. Індеси, позначені латинськими літерами, друкуються курсивом. У формулах літери латинського алфавіту набираються курсивом, грецького й українського — прямим шрифтом.

Хімічні формули набираються прямим шрифтом. Математичні символи, що входять до складу хімічних формул, — курсивом.

Формули вставляються безпосередньо в текст. Прості формули набираються з клавіатури, а складні — за допомогою редактора формул Microsoft Equation 3.0 object або Math Type 5.6. Інші версії редакторів формул є неприйнятними. Символи вставляються тільки через таблицю символів. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

12. 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.

13. Дата надходження статті до редакції (після тексту надрукованого матеріалу).

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається**. Переклад має бути належної якості.

Відсутність будь-якого з пунктів переліку, зазначеного вище, рецензії, невідповідність вимогам до оформлення, наявність орфографічних, граматичних, стилістичних помилок, автоматичний переклад елементів матеріалу є підставою для відмови в прийнятті статті до друку.

Автор несе відповідальність за додержання вимог чинного законодавства при підготовці матеріалів, у тому числі норм авторського права і достовірність наведених фактичних даних (цитат, посилань, імен, назв тощо).

Адреса редакції:

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

Контактні телефони: міський — (044) 287-92-95, внутрішній — 92-95.

E-mail: npnuht@ukr.net

SUBMISSION GUIDELINES

Dear colleagues,

The editorial board of the Journal “Scientific works of the National University of Food Technologies” invites you to the publication of your manuscripts (<http://sw.nuft.edu.ua>).

Only the manuscripts that have not previously been published in print and electronic media are accepted. The author who submits materials for publication reserves the copyright and provides the right of first publication to the Journal, allows to distribute the manuscript indicating the authorship and the primary source of publication and agrees to placing the electronic version of the manuscript on the website of the V. I. Vernadsky National Library of Ukraine, publicly available electronic network of the University. The author gives the right to the editorial board to review and reject the material submitted for publication. The author can publish one manuscript (of his/her single authorship or co-authored) per every issue of the Journal.

The following documents are necessary to be sent to the e-mail address of the journal (npuht@ukr.net):

- Electronic version of the manuscript;
- A review of the manuscript by a doctorate of the corresponding branch of science. If one of the authors is a doctorate him/herself, then a review is not necessary;
- A statement signed by the author(s) that the manuscript has not been published and is not submitted for publication.

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 15 references should be analyzed in the research paper. The length of the review article should be at least 25 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).
3. Full names of the authors in English, Ukrainian (not more than four authors).
4. An abstract in English, Ukrainian (not less than 1800 characters with spaces). The abstract should be highly informative, it is a separate text document in which the results of the research must be summarized. General phrases, insignificant details and well-known provisions shouldn't be written in the abstract. Direct repetitions of any parts of the article should be also avoided.
5. A list of keywords (5—6 words or key phrases in English, Ukrainian).
6. The structure of the text:
 - Problem definition and its relationship with important practical tasks;
 - Analysis of recent studies and publications related to subject matter of the manuscript;
 - Problem statement (statement of purpose of the manuscript);
 - Presentation of the main material;
 - Conclusions and recommendations for further research.
7. A list of references 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.

The investigations of scientists from all over the world should be analyzed in the article. Based on the analysis of modern articles from English-language journals, the relevance of the topic in the world should be proved, the issues which need to be solved should be identified, and the purpose of the research should be formulated.

8. Tables (in Word and Excel) can be submitted both in the text of the manuscript and in separate files (on separate pages). Each table should have a title, typed in bold, and its serial number if there are several tables. The word “Table” and number are printed in italics; the title is printed in bold. Tables should be in book format and fit freely in the height and width of the journal page.

9. Figures, images and tables should be performed in Corel Draw, Origin on white paper and placed both in the text and in separate files. Captions should be typed in bold directly under the figures. Images must be clear and contrasting (TIF, JPG with a resolution of 300 dpi); the size 6×9. Photos are printed in case of extreme necessity, if they provide information of the significant scientific value.

10. Mathematical formulas should be typed with the correct placing of upper and lower indices. The formulas should be numbered by Arabic numerals in parentheses at the right margin of the page. The indices of Ukrainian abbreviated words should be typed in bold and in lower case. The first word of an index, consisting of two abbreviated words, should be followed by a dot, and the second word has no dot. The numbers in the indexes are typed in upright font. Indexes should be typed in Latin letters and in italics. In formulas, the letters of Latin alphabet are typed in italics; Greek and Ukrainian letters are in upright font.

Chemical formulas should be typed in upright font. Mathematical symbols that make up the chemical formulas should be typed in italics.

Formulas should be put directly into the text. Simple formulas are typed from the keyboard, and complex — using the Microsoft Equation 3.0 object or MathType 5.6. Other equation editors are unacceptable. The characters are inserted only through the symbol table. The contraction of physical units must comply with the rules of the International System of Units (SI).

11. Information about the authors should be given as follows: second name (in uppercase letters), first name and patronymic (in full); academic title; position or profession, place of work; phone number, E-mail.

12. The date when the manuscript was received by the editorial board.

The use of **automatic translation** for any part of your text (manuscript, abstract, keywords) **is not allowed**. Translation must be of good quality.

The absence of any item listed above; absence of abstracts; non-compliance to the design requirements; spelling, grammatical, stylistic errors; automatic translation of any part of the manuscript are the grounds **for refusal** to accept the manuscript for publication.

The author is fully responsible for compliance with current legislation, including the rules of copyright and the consistency of data (quotations, references, names, etc.).

Editorial office address:

National University of Food Technologies
Volodymyrska str., 68,
building B,
room 412
01601 Kyiv,
Ukraine
E-mail: npnuht@ukr.net