



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

38

Харчова
ПРОМИСЛОВІСТЬ

Заснований у 1965 р.

Київ НУХТ 2025

UDC 664(04) (082)

Results of research and development operations on technology of foodstuff, chemical, biochemical, microbiological processes, devices, the equipment, automation of food productions and economy of the food industry are provided.

The journal was designed for scientists, engineers and technical personnel of the food industry.

Journal "Food Industry" is included into the list of professional editions of Ukraine of technical sciences (Decree of MES of Ukraine # 32 from January 15, 2018) and the category "Б" (Decree of MES of Ukraine # 612 from May 7, 2019, # 975 from July 11, 2019; in specialties 122, 133, 141, 144, 151, 162, 181), where the results of dissertations for scientific degrees of PhD and candidate of science can be published.

The Journal "Food Industry" is indexed by the following scientometric databases:

- Google Scholar
- Index Copernicus

Publications are represented in authoring edition.

Editorial office address:

National University of Food Technologies
Volodymyrska str., 68, 01601 Kyiv, Ukraine
(044) 287-93-07, internal 93-07
E-mail: hpuht@ukr.net

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies.
Protocol # 1 from 04 th of September, 2025

© NUFT, 2025

УДК 664(04) (082)

Висвітлені результати науково-дослідних робіт з технології харчових продуктів, хімічних, біохімічних, мікробіологічних процесів, апаратів, обладнання, автоматизації харчових виробництв та економіки харчової промисловості.

Розрахований на наукових та інженерно-технічних працівників харчової промисловості.

Журнал «Харчова промисловість» включено в перелік наукових фахових видань України з технічних наук (Наказ МОН України № 32 від 15.01.2018) та категорію «Б» (Накази МОН України № 612 від 07.05.2019 р. та № 975 від 11.07.2019, за спеціальностями 122, 133, 141, 144, 151, 162, 181), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

Журнал «Харчова промисловість» індексується такими наукометричними базами:

- Google Scholar
- Index Copernicus

Статті друкуються в авторській редакції.

Адреса редакції:

Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68, м. Київ, 01601
(044) 287-93-07, внутрішній 93-07
E-mail: hpuht@ukr.net

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій.
Протокол № 1 від 04 вересня 2025 року

© НУХТ, 2025

Редакційна колегія

Головний редактор
Editor-in-Chief

Олександр ГАВВА
Oleksandr GAVVA

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Відповідальний секретар
Accountable secretary

Тетяна ОСЬМАК
Tetiana OSMAC

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

Члени редакційної колегії:

Андрій МАРІНІН
Andrii MARYNIN

канд. техн. наук, ст. наук співр., Україна
Ph. D., Senior Research Officer, National University of Food Technologies, Ukraine

Василь КИШЕНЬКО
Vasil KYSHENKO

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

Віктор ЄМЦЕВ
Viktor YEMTSEV

д-р екон. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Віктор СТАБНИКОВ
Viktor STABNIKOV

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Віра ЮРЧАК
Vira YURCHAK

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Віталій ПРИБИЛЬСЬКИЙ
Vitaliy PRYBYL'S'KYU

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Галина ПОЛЩУК
Galina POLISCHUK

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Галина СИМАХІНА
Halyna SIMAKHINA

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Лариса АРСЕНЬЄВА
Larysa ARSEN'YEVA

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Микола ЯКИМЧУК
Mykola YAKYMCHUK

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Наталія ГУСЯТИНСЬКА
Nataliia HUSIATYNSKA

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Наталія ПУШАНКО
Nataliia PUSHANKO

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

Оксана КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО
Oksana KOCHUBEI-
LYTVYENENKO

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Олександр КУРГАЄВ
Oleksandr KURGAEV

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Олександр СЕРЬОГІН
Oleksandr SER'OHIN

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Олександр ШЕВЧЕНКО
Olexander SHEVCHENKO

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

- Олена БЛИК**
Olena BILYK
канд. техн. наук, Україна
Ph. D., National University of Food Technologies, Ukraine
- Світлана ЛІТВИНЧУК**
Svitlana LITVYNCHUK
канд. техн. наук, Україна
Ph. D., National University of Food Technologies, Ukraine
- Сергій ТОКАРЧУК**
Serhiy TOKARCHUK
канд. техн. наук, Україна
Ph. D., National University of Food Technologies, Ukraine
- Станка ДАМЯНОВА**
Stanka DAMYANOVA
д-р техн. наук, Болгарія
DSc, Razgrad Branch of the University of Ruse, Bulgaria
- Стефан СТЕФАНОВ**
Stefan STEFANOV
д-р інж., проф., Болгарія
DSc, University of Food Technologies, Plovdiv, Bulgaria
- Тамара НОСЕНКО**
Tamara NOSENKO
д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine
- Тетяна ЛЕБЕДЕНКО**
Tetiana LEBEDENKO
д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., Odessa National Academy of Food Technologies
Ukraine
- Тетяна ПИРОГ**
Tetyana PYROH
д-р біол. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine
- Тетяна СИЛЬЧУК**
Tetiana SYLCHUK
д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine
- Юлія КАМБУЛОВА**
Yuliia KAMBULOVA
д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЇ, СИРОВИНА ТА МАТЕРІАЛИ**SECTION 1. TECHNOLOGIES, RAW MATERIALS AND MATERIALS****Сировина та матеріали****Raw Materials and Materials**

Ляшко Г. В., Янюк Т. І., Тракало Т. О. Зміна гранулометричного складу бобової сировини 7 *Liashko H., Yaniuk T., Trakalo T.* Change in the granulometric composition of legume raw materials

Бабич І. М., Мельник Л. М., Фролова Н. Е., Литовченко О. М., Кириленко Р. Г. Вплив українських теруарів на якість червоних сухих вин 17 *Babych I., Melnyk L., Frolova N., Lytovchenko O., Kyrylenko R.* Influence of ukrainian terroirs on the quality of dry red wines

Сильчук Т. А., Зуїко В. І., Цирульнікова В. В. Особливості використання функціонального їстівного посуду з нетрадиційної сировини в ресторанному бізнесі 26 *Sylchuk T., Zuiko V., Tsyrunikova V.* Features of using functional edible tableware made from non-traditional raw materials in the restaurant business

Дослідження, застосування та впровадження**Researches, Application and Introduction**

Кохан О. О., Камбулова Ю. В., Соцька А. М., Карповець К. В., Березкина Н. А. Проектування інноваційних органічних борошняних кондитерських виробів на основі локальної сировини 34 *Kokhan O., Kambulova Yu., Sotska A., Karpovets K., Beretzkyina N.* Designing innovative organic flour-based confectionery products based on local raw materials

Сичова О., Завгородній М., Поліщук Г. Обґрунтування рецептурного складу пробіотичного йогурту 44 *Sychova O., Zavorodnii M., Polishchuk G.* Substitution of the formulation of probiotic yogurt

Білько М. В., Кучеренко В. М., Успенко О. В., Шевченко А. О., Фролова Н. Е., Кириленко Р. Г. Обґрунтування технології поліфенольного екстракту з вичавки винограду сорту Ізабелла 57 *Bilko M., Kucherenko V., Uspenko O., Shevchenko A., Frolova N., Kyrylenko R.* Justification of technology for polyphenolic extract from grape pomace of isabella variety

Дмитренко І. Т., Поліщук Г. С. Функціональні властивості та технологічні аспекти йогурту з прянощами 68 *Dmytrenko I., Polishchuk G.* Spices as multifunctional ingredients in yogurt technology

Корецька І. Л., Кузьмін О. В., Матіяшчук О. В., Неміріч О. В., Куц А. М., Житнецький І. В. Забезпечення санітарно-гігієнічних умов при проектуванні інклюзивних робочих місць крафтових підприємств 87 *Koretska I., Kuzmin O., Matyiaschuk O., Niemirich O., Kuts A., Zhytnetskyi I.* Ensuring sanitary and hygienic conditions in the design of inclusive workplaces at craft enterprises

Лукашук А. В., Осмак Т. Г., Поліщук Г. С. Бар'єрні технології ферментованих молочних продуктів 100 *Lukashchuk A., Osmak T., Polishchuk G.* Hurdle technologies of fermented dairy products

Олійник С. І., Острик О. М., Ковальчук В. П., Кириленко Р. Г. Вплив компонентного складу настоюнок на їх стабільність 112 *Oliinyk S., Ostryk O., Kovalchuk V., Kyrylenko R.* Influence of the component composition of tintings on their stability

Шевченко А. О. Практики органічних агротехнологій, біодинаміка та виробництво харчових продуктів у Швеції 121 *Shevchenko A.* Organic agricultural practices, biodynamics and food production in sweden

Юрчак В. Г., Пашиова Н. В., Волощук Г. І., Бандуренко Г. М., Шапошнік В. М. Удосконалення технології хліба житнього з борошна з високим числом падіння 134 Yurchak V., Pashova N., Voloshchuk H., Bandurenko H., Shaposhnik V. Improvement of technology of bread made from rye flour with high falling number

Камбулова Ю. В., Кохан О. О., Ворыкхвост А. М., Янюк Т. І., Фалендиш Н. О., Гоменюк К. А. Інновації та управління якістю в технології традиційного і органічного печива з цільнозерновим жорновим борошном 144 Kambulova Yu., Kokhan O., Vorvykhvost A., Yaniuk T., Falendysh N., Homeniuk K. Innovation and quality management in the technology of traditional and organic cookies with whole grain milled flour

Прибыльський В. Л., Дулька О. С., Бабич І. М., Бондар М. В., Бойко П. М., Кириленко Р. Г. Визначення понять «Інтелектуальна власність» і «Право інтелектуальної власності» 157 Prybylskyi V., Dulka O., Babych I., Bondar M., Boyko P., Kyrylenko R. Definition of the concepts of "Intellectual property" and "Intellectual property law"

РОЗДІЛ 2. ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

Процеси харчових виробництв

Гудзь Ю. А., Луцька Н. М. Кінетика міжстадійних процесів у вакуум-апараті цукрового заводу 163 Hudz Yu., Lutska N. Kinetics of interstage processes in a sugar factory vacuum pan

Ощипок І. М. Автоматизація виробництва харчових продуктів — важливий напрям стратегії розвитку підприємств харчової промисловості 177 Oshchypok I. Automation of food production is an important direction of the development strategy of food industry enterprises

Шпак В. В., Романюк В. Т., Зінкевич П. О. Стратегії енергоефективності на харчових виробництвах 190 Shpak V., Romaniuk V., Zinkevych P. Energy efficiency strategies in food production

Чорнобай К. Ю., Седих О. Л., Грибков С. В. Моделі глибинного навчання для прогнозування попиту на продукцію молокопереробної промисловості 206 Chornobai K., Sedych O., Hrybkov S. Deep learning models for forecasting demand for dairy products

Обладнання та устаткування

Войтюк Я. Ю., Якимчук М. В. Функціонально-мехатронний модуль на основі антагоністичної пари пневмомускулів для сортування тарно-штучних харчових продуктів 214 Voitiuk Ya., Iakymchuk M. Functional-mechatronic module based on antagonistic pair of pneumomuscles for sorting packaged food products

Гавва О. О., Кривопляс-Володіна Л. О., Михайлик Б. В., Марцінкевич Л. В., Чепелюк О. М. Реалізація оптимального за швидкодією закону формування дози рідкої продукції ваговим способом в адаптронних функціональних модулях пакувальних машин 222 Gavva O., Kryvoplias-Volodina L., Myckailyk B., Martsynkevych L., Chepeliuk O. Implementation of the optimal dose formation of liquid products by weight in adaptronic functional modules of packaging machines according to the speed law

Омеляненко К. А., Губеня О. О. Вплив частоти обертання робочих органів бісерного млина на кінетику руйнування клітин дріжджів 233 Omelianenko K., Gubenia O. Effect of working elements' rotation speed of bead mill on kinetics of yeast cell destruction

Зленко К. М., Якимчук М. В. Сучасний стан і перспективи розвитку функціональних модулів дозування рідких харчових продуктів 244 Zlenko K., Iakymchuk M. Current status and prospects of development of functional modules for liquid food dosing

Соколов І. П., Губеня О. О. Конструкції обладнання та режими ультразвукового різання харчових продуктів 252 Sokolov I., Gubenia O. Equipment designs and operating modes of ultrasonic cutting of food products

SECTION 2. PROCESSES AND EQUIPMENT

Processes of Food Industries

Hudz Yu., Lutska N. Kinetics of interstage processes in a sugar factory vacuum pan

Oshchypok I. Automation of food production is an important direction of the development strategy of food industry enterprises

Shpak V., Romaniuk V., Zinkevych P. Energy efficiency strategies in food production

Chornobai K., Sedych O., Hrybkov S. Deep learning models for forecasting demand for dairy products

Equipment and machinery

Voitiuk Ya., Iakymchuk M. Functional-mechatronic module based on antagonistic pair of pneumomuscles for sorting packaged food products

Gavva O., Kryvoplias-Volodina L., Myckailyk B., Martsynkevych L., Chepeliuk O. Implementation of the optimal dose formation of liquid products by weight in adaptronic functional modules of packaging machines according to the speed law

Omelianenko K., Gubenia O. Effect of working elements' rotation speed of bead mill on kinetics of yeast cell destruction

Zlenko K., Iakymchuk M. Current status and prospects of development of functional modules for liquid food dosing

Sokolov I., Gubenia O. Equipment designs and operating modes of ultrasonic cutting of food products

УДК 633.1. 62-96

CHANGE IN THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF LEGUME RAW MATERIALS

H. Liashko, T. Yaniuk, T. Trakalo

National University of Food Technologies

Key words:

roaster,
autoclave,
grinding,
soybeans,
chickpeas,
peas

Article history:

Received 22.08.2025

Received in revised form
30.08.2025

Accepted 31.08.2025

Corresponding author:

ytata13@ukr.net

ABSTRACT

The study focuses on a comprehensive analysis of the effect of three high-intensity thermal processing methods (extrusion, roasting, and autoclaving) on the granulometric composition (particle size distribution) of soybean, pea, and chickpea seeds after milling. It was established that the granulometric composition, quantitatively expressed through the Fineness Modulus (FM), is a critically important technological indicator in the food industry, as it determines the solubility, dispersibility, viscosity, and functional properties of the final products, particularly food concentrates and dry purees. In addition to the key function of deactivating antinutritional factors (e. g., trypsin inhibitors) and increasing protein bioavailability, thermal processing causes a profound structural modification of the grain's internal matrix.

This change, which includes denaturation and gelatinization, makes the grain more brittle and, consequently, more suitable for fine grinding. Experimental data, obtained by determining the Fineness Modulus, unequivocally demonstrated that all three applied thermal methods significantly reduce the average particle size (Fineness Modulus) of the milled raw materials compared to the untreated control sample. Notably, extrusion proved to be the most effective technology, yielding the lowest FM values for all studied crops (at the level of 0.68—0.69 mm versus 0.94—1.04 mm before processing).

This effect is a result of the combined action of high temperatures, pressure, and mechanical shear. The reduction of the Fineness Modulus is of exceptional importance for optimizing production. Obtaining a fine-dispersed, homogeneous powder allows for improving functional properties (in particular, the ability to absorb water and fat, and emulsifying activity), increasing nutritional value, and simplifying technological processes, such as the creation of stable suspensions and subsequent high-quality drying of legume-based food products.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-3

ЗМІНА ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ БОБОВОЇ СИРОВИНИ

Г. В. Ляшко, аспірант, ORCID ID 0000-0002-0869-9085

Т. І. Янюк, канд. техн. наук, ORCID ID 000-0003-2589-5042

Т. О. Тракало, канд. техн. наук, ORCID ID 0000-0002-3490-250X

Національний університет харчових технологій

Дослідження аналізує вплив різних методів теплової обробки (екструзії, ростерної обробки та обробки в автоклаві) на гранулометричний склад (розподіл частинок за розміром) сої, гороху та нуту після подрібнення. Визначено, що гранулометричний склад є важливим показником для харчової промисловості, оскільки впливає на розчинність, диспергованість, в'язкість і функціональні властивості кінцевих продуктів, зокрема пюре. Теплова обробка не лише руйнує антипоживні речовини та підвищує засвоюваність білків, але й змінює внутрішню структуру зерна, воно стає більш придатним для тонкого подрібнення. Експериментальні дані показали, що всі три методи обробки значно зменшують модуль крупності сировини, причому екструзія виявилася найефективнішою в досягненні найменшого розміру частинок. Ці зміни мають велике значення для покращення функціональних властивостей (водо- та жиропоглинання, емульгуюча здатність), підвищення поживної цінності та оптимізації технологічних процесів у виробництві харчових продуктів на основі бобових.

Ключові слова: ростер, автоклав, подрібнення, соя, нут, горох.

Вступ. Гранулометричний склад сировини має велике значення для харчової промисловості та значною мірою визначає, як продукт поводитиметься під час подальшої переробки та споживання.

Дрібніші частинки, зазвичай, краще розчиняються або диспергуються у воді (наприклад, сухе молоко, порошкові напої), що важливо для продуктів швидкого приготування. Розмір частинок впливає на здатність поглинати воду й утворювати гелі, що є ключовим для загусників. Розмір і форма частинок у суспензіях або пастах впливають на їхню в'язкість, що важливо для продуктів, які перекачуються, розливаються або наносяться на барабан сушарки.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Бобові культури є одними з найважливіших сільськогосподарських рослин у світі, що відіграють ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки та стійкості харчової промисловості. Їхня значущість постійно зростає, особливо в контексті глобального попиту на рослинні білки, функціональні інгредієнти та альтернативні джерела поживних речовин.

Бобові є відмінним джерелом білків, крохмалю, харчових волокон, вітамінів та мінеральних речовин, і особливо важливі, коли споживання тваринних білків обмежене через обмежену доступність або релігійні, дієтичні та етичні звички [1]. Потенціал використання бобових культур у харчовій промисловості полягає у створенні рослинних напоїв, ферментованих продуктів, заміників м'яса, ізолятів та концентратів рослинного білка для збагачення продуктів і для створення харчоконцентратів.

Бобові є чудовим джерелом високоякісного білка, який містить 20—45% білка і, зазвичай, багатий на незамінну амінокислоту лізин [2]. Їхній потенціал постійно розширюється завдяки розвитку технологій переробки, що дозволяють отримувати функціональні інгредієнти та створювати інноваційні продукти, що відповідають

зростаючим потребам споживачів у здоровому, стійкому та різноманітному харчуванні. Розуміння їхнього хімічного складу та поведінки при обробці є важливим для збільшення їхнього використання.

Теплова (фізична) обробка здавна використовується як основний метод руйнування антипоживних речовин, які знаходяться в сирих бобах. Розроблені різні технології, в основу яких покладено єдиний принцип: боби нагріваються протягом певного часу [3, 9].

Для того, щоб знизити вміст антипоживних речовин у бобовій сировині, було використано три різні методи теплової обробки, а саме ростерна, екструзійна та автоклавування.

В основі фізичних способів дезактивації збудників інфекційних захворювань, грибів та антипоживних речовин лежить передача теплової енергії від його джерела до зерна і від зовнішніх його шарів до внутрішніх. Завдяки інтенсивному переносу теплової енергії водяною парою зерно швидко нагрівається, зневоджується, а енергія витрачається тільки на руйнування антипоживних речовин.

Ефективність інактивації антипоживних речовин і оптимальність режимів обробки зерна оцінюють на основі визначення інгібіторів трипсину та активності уреазу. На цьому заснована процедура теплової обробки зерна в ростері, де носієм теплової енергії є полум'я, яке утворюється від згоряння газу (або газової суміші пропан-бутан).

Ростерна обробка є одним із традиційних методів теплової обробки, при яких бобові продукти піддаються впливу високих температур у спеціальних установках — ростерах. Цей процес дозволяє не лише покращити смакові якості, але й підвищити поживну цінність продукту.

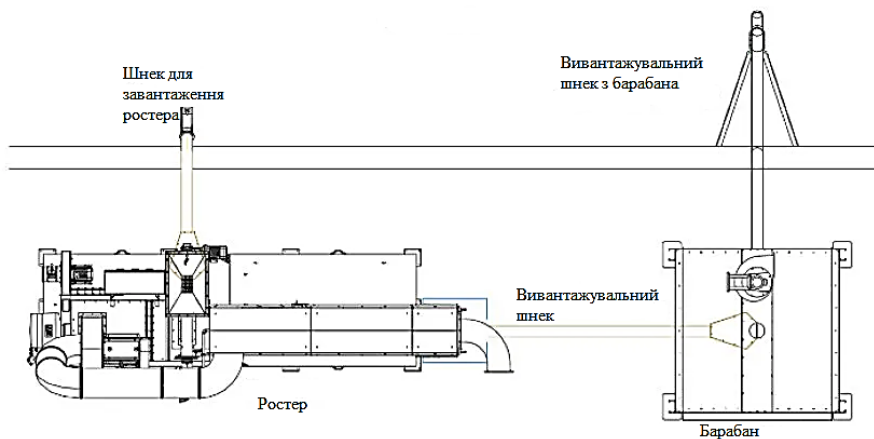


Рис. 1. Вигляд ростерної установки зверху

Технологія смаження в ростері Roast-A-Matic (США) складається з етапу фламбування (3—4 секунди насіння обробляється при температурі 1400 °С) та доведення насіння до готовності у барабані (90 секунд при температурі до 140 °С) [4]. За допомогою ростерної обробки можна покращити органолептичні та фізико-хімічні властивості сировини.

Технологічно прожарювання розділяється на 2 етапи:

1. Фламбування зерна — на 3—4 секунди зерно потрапляє у відкрите полум'я пальника. Температура полум'я складає 1400 °С. В цей час відбуваються такі процеси:

- нагрівання зовнішньої поверхні зерна та формування на ній захисної плівки за рахунок процесів карамелізації поверхневих шарів зернини;
- знезараження поверхні зерна — за рахунок надвисокої температури та різкого перепаду температур (з 1400 °С до 140 °С в барабані) відбуваються процеси ідентичної пастеризації.

Перший етап дозволяє «законсервувати зерно», тобто на першому етапі починається процес формування захисної плівки, яка дає змогу подовжити термін зберігання зерна до 2 років.

2. Доведення зерна до готовності — обробка зерна в барабані ростера (90 секунд), під час якої:

- вода, що знаходиться всередині зерна, випаровується, зерно швидко нагрівається завдяки інтенсивному переносу теплової енергії водяною парою, а енергія витрачається тільки на руйнування антипоживних речовин;
- завершується формування захисної плівки на поверхні зерна та відбувається остаточна консервація зерна.

Другий етап дозволяє:

- знизити вологість зерна до меж, необхідних для тривалого зберігання;
- руйнувати антипоживні речовини [5].

Технологія екструзування — це процес перетворення зерна (зміна структури, форми та хімічного складу) під час короткотривалої дії ($t=30-90$ с) високої температури ($t=100-120$ °С) та тиску ($p=0,2-0,5$ МПа). Екструзійна обробка широко застосовується у виробництві сніданкових пластівців, кормів для домашніх тварин, хлібобулочних виробів та снєків. Отриманий екструдат має низький вміст вологи та вважається, як правило, продуктом, що зберігається протягом певного часу [6, 10-14].

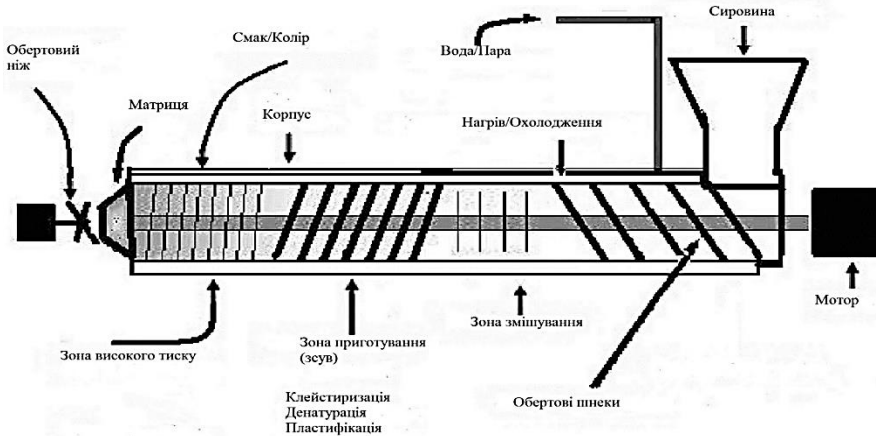


Рис. 2. Основні складові одношнекового екструдера

Під час екструзії ферменти деактивуються, мікробні популяції зменшуються, а погіршення харчової цінності та смаку мінімізується.

Основні складові екструдера показано на рис. 2. Зона обробки екструдера, яка називається циліндром, поділена на три зони: зону високого тиску/формування, зону варіння або переходу та зону подачі/змішування. Шнеки є важливими компонентами екструдерів, оскільки вони дозволяють змішувати, замішувати, подрібнювати, рівномірно готувати й транспортувати сировину всередині однієї машини [11—13].

Екструдери поділяються на одно- та двошнекові. Вважається, що General Mills Inc. (США) першою впровадила одношнековий екструдер на технологічній лінії готових до вживання пластівців наприкінці 1930-х років [4, 7, 9].

У минулому для розробки екструдованих харчових продуктів використовувалася лише соя. В останні роки дослідники впроваджують екструзійні технології для виробництва широкого асортименту харчових продуктів із включенням таких бобових, як квасоля, сочевиця, горох, нут, для покращення харчової цінності продуктів.

Автоклавування (варіння під тиском) — це процес обробки харчової сировини парою під дією високого тиску протягом короткого періоду часу. Це високоінтенсивний термічний метод, що використовується в промисловості для комерційного виробництва консервованих бобових. Автоклав — це камера під тиском від 0,18 до 0,2 МПа, яка піддається дії насиченої пари температурою 121 °С. Така обробка позитивно впливає на харчові та антипоживні речовини бобових культур [11, 15].

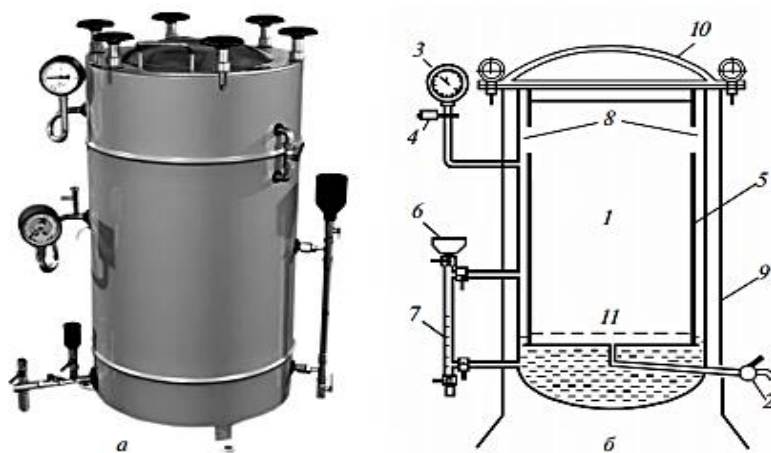


Рис. 3. Будава автоклава: а — зовнішній вигляд; б — схема; 1 — стерилізаційна камера; 2 — кран для виведення повітря; 3 — манометр; 4 — запобіжний клапан; 5 — водо-парова камера; 6 — воронка для заповнення автоклава водою; 7 — водомірна трубка; 8 — отвір для надходження пари в стерилізовану камеру; 9 — захисний корпус; 10 — кришка автоклава; 11 — підставка для розміщення стерилізованої сировини

Метою дослідження є визначення впливу різних методів теплової обробки (екструдера, ростера та автоклава) на розподіл розміру частинок бобової сировини та її подальші технологічні властивості в харчовій промисловості.

Гранулометричний склад сировини для приготування харчових продуктів дуже важливий показник, адже від цього показника залежить рівномірність створення так званих суспензій (пюре), які в результаті будуть наноситись на барабан сушарки для отримання сухого пюре.

Матеріали і методи. Експериментальну роботу проводили в 2022—2024 роках. Для дослідження впливу теплової обробки на гранулометричний склад харчових продуктів було взято насіння сої, гороху та нуту.

Насіння бобових культур було попередньо підготовлене до теплової обробки, висушене до базисних норм та очищене від сторонніх домішок.

Досліджувані бобові культури піддавались тепловій обробці за допомогою екструдера ПЭК-40х5В та автоклава PRO-10E на базі кафедри технології зберігання і переробки зерна НУХТ. Зразки ростерної обробки були отримані у виробничих умовах.

Дослідні зразки бобових культур були піддані тепловій обробці, після чого їх охолоджували та подрібнювали.

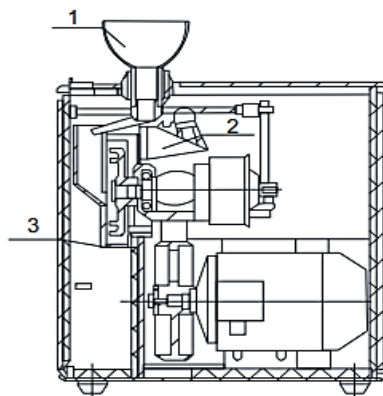


Рис. 4: Схема лабораторного млина ЛМ-2: 1 — воронка; 2 — віброкоток; 3 — розмельна камера

Подрібнення проводилось на лабораторному млині ЛМ-2 (рис. 4).

Гранулометричний склад визначали просіюванням 100 г наважки на наборі сит з отворами діаметром 0,45, 0,56, 0,8 та 1,5 мм з подальшим зважуванням отриманих проходів із кожного сита з точністю до 0,1 г, після чого розраховували модуль крупності.

Розрахувати модуль крупності продуктів подрібнення, який свідчить про середній розмір частинок, можна за формулою (1):

$$X = \frac{X_0 \frac{d_1}{2} + X_1 \frac{d_1 + d_2}{2} + \dots + X_{n-1} \frac{d_{n-1} + d_n}{2}}{\sum_{i=0}^n X_i}, \text{ мм}, \quad (1)$$

де X_0 — прохід через сито з мінімальним розміром отворів, г; $X_{1,2,n}$ — залишок на ситах з діаметром отворів d_1, d_2, d_n відповідно, г.

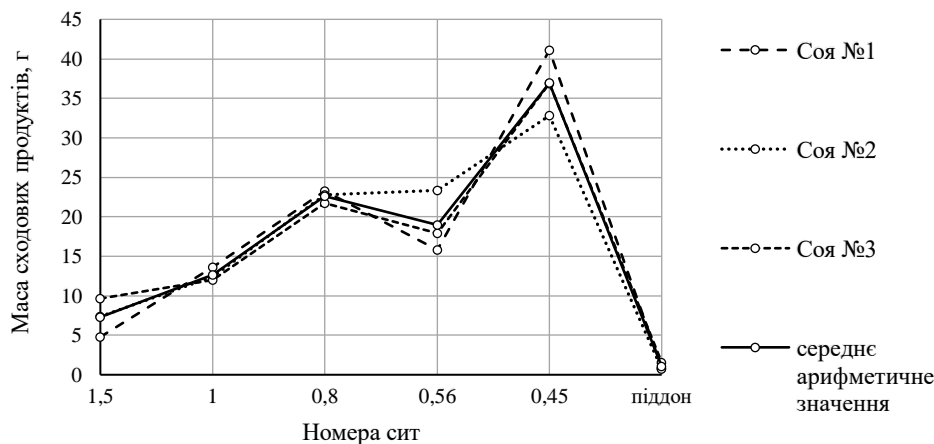
Прогнозований модуль крупності визначається як середньозважене значення отриманих експериментальних даних при подрібненні 100% сировини.

Результати досліджень. На першому етапі досліджень було проведено подрібнення вихідних зразків сої, гороху та нуту. Дослідження проводили у трьох повторностях. За результатами подрібнення встановлена маса сходових продуктів з кожного сита та знайдено середнє арифметичне значення для кожного зразка сировини. Результати подрібнення вихідної бобової сировини представлені на рис. 5 (а, б, в).

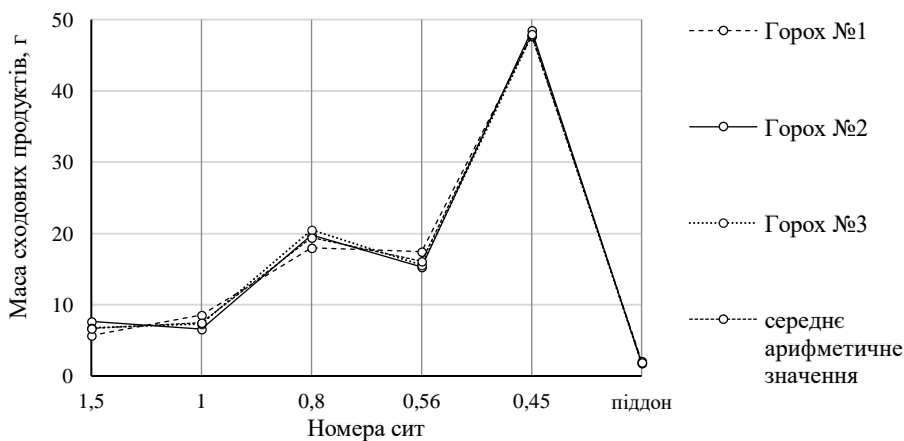
На другому етапі досліджень здійснювалась теплова обробка бобової сировини за допомогою екструдера, ростера та автоклава. Бобову сировину після теплової обробки сушили та подрібнювали за допомогою ЛМ-2. За результатами подрібнення знайдено середнє арифметичне значення маси проходових продуктів з кожного сита. Результати подрібнення бобової сировини після теплової обробки представлені на рис. 6, 7 та 8.

Проаналізувавши розподіл маси сходових продуктів у результаті подрібнення, досліджено модуль крупності за допомогою формули (1).

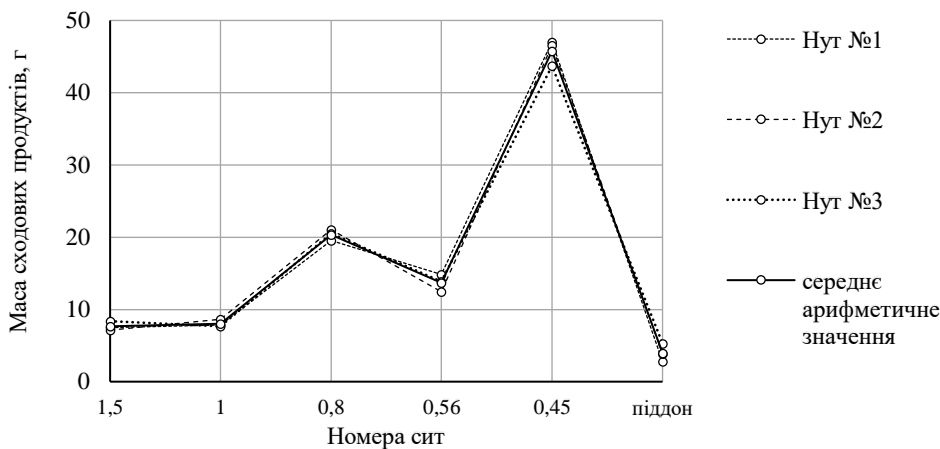
Результати досліджень наведено в таблиці.



а



б



в

Рис. 5. Результати подрібнення вихідних зразків бобової сировини:
а — сої; б — гороха; в — нута

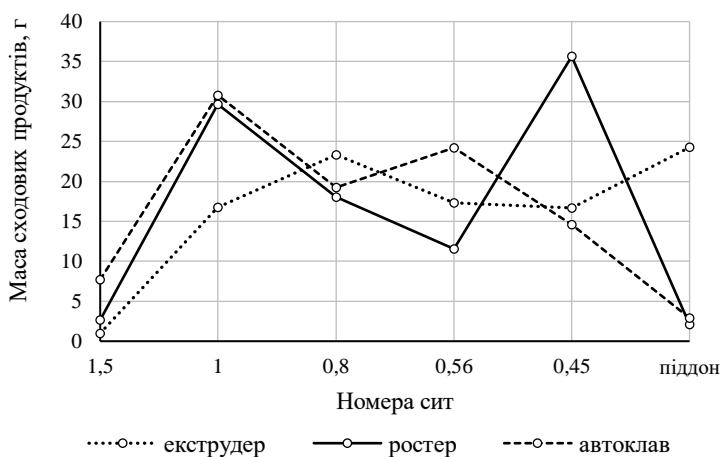


Рис. 6. Результати подрібнення зразків сої після теплової обробки

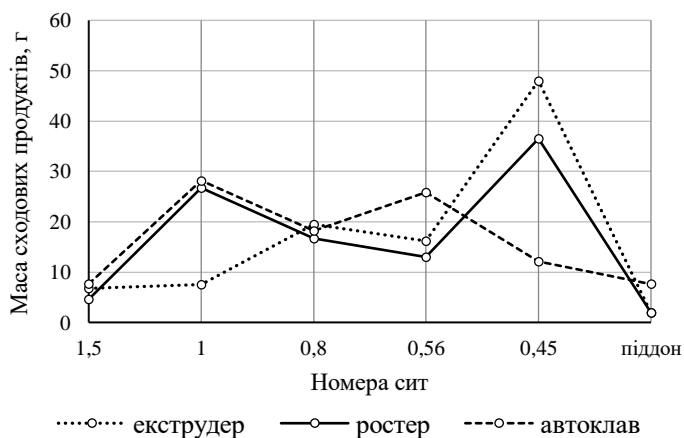


Рис. 7. Результати подрібнення зразків гороху після теплової обробки

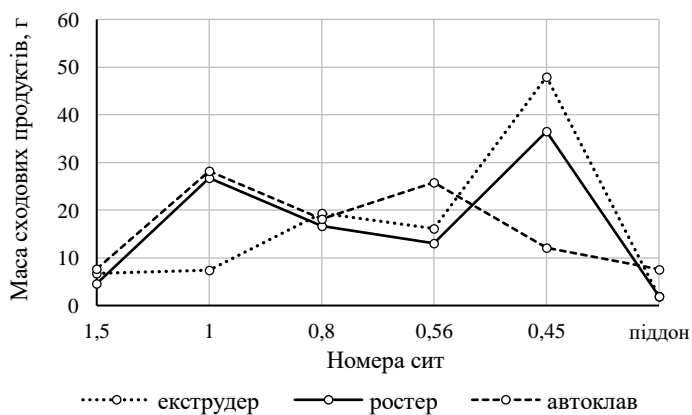


Рис. 8. Результати подрібнення зразків нуту після теплової обробки

Таблиця. Модуль крупності продуктів подрібнення

Назва продуктів	Модуль крупності, мм			Середнє значення
	№ 1	№ 2	№ 3	
Соє до обробки	1,04	1,04	1,04	1,04
Соє після обробки в екструдері	0,69	0,69	0,69	0,69
Соє після обробки в ростері	0,82	0,82	0,82	0,82
Соє після обробки в автоклаві	0,86	0,87	0,87	0,87
Горох до обробки	0,95	0,94	0,95	0,95
Горох після обробки в екструдері	0,68	0,67	0,68	0,68
Горох після обробки в ростері	0,8	0,8	0,8	0,8
Горох після обробки в автоклаві	0,84	0,83	0,82	0,83
Нут до обробки	0,94	0,95	0,93	0,94
Нут після обробки в екструдері	0,68	0,68	0,67	0,68
Нут після обробки в ростері	0,78	0,78	0,78	0,78
Нут після обробки в автоклаві	0,8	0,8	0,8	0,8

Експериментальні дані (див. табл.) чітко демонструють, що всі застосовані методи теплової обробки суттєво зменшують модуль крупності подрібнених бобових культур порівняно з необробленою сировиною. Це свідчить про зміну структури зерна під впливом тепла, що полегшує його подрібнення до дрібніших частинок.

Висновки. Екструзія є найбільш ефективним методом для зменшення модуля крупності. Для всіх трьох культур (сої, гороху, нуту) екструзія дала найнижчі значення модуля крупності (0,69 мм для сої, 0,68 мм для гороху та 0,68 мм для нуту). Це пояснюється інтенсивним комбінованим впливом високої температури, тиску та механічного зсуву під час екструзії, що призводить до руйнування структури зерна й утворення дрібніших частинок.

Ростерна обробка та автоклавовання також сприяють зменшенню модуля крупності, але меншою мірою, ніж екструзія. Модуль крупності після ростерної обробки був дещо нижчим, ніж після автоклавовання, для всіх культур. Це вказує на те, що високотемпературний вплив ростера, особливо фаза фламбування, ефективно модифікує структуру поверхні зерна, полегшуючи подальше подрібнення.

Більш тонкоподрібненні частинки утворюються в результаті теплової обробки, що важливо для харчової промисловості. Зменшення модуля крупності означає отримання більш однорідного та дрібнодисперсного порошку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pasqualone, A., Costantini, M., Coldea, T. E. (2020). Use of Legumes in Extrusion Cooking: A Review. *Foods*, 9(7), 95—98.
2. Maphosa, Y., Jideani, V. A. (2017). The Role of Legumes in Human Nutrition. *InTech*, 127—135.
3. Бандура, В. М., Поп'як, О. Г. (2019). Технологічні процеси сушіння сої. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2(105), 52—58.
4. Шевченко, А., Фещенко, Д., Романишина, Т. (2023). Ростерна обробка сої, як спосіб деактивації антипоживних речовин. *Conferences of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 39—40.
5. Технологія прожарювання зерна та бобових Roast-A-Matic в Україні URL: <https://1tn.com.ua/roastamatic/> (date of access 22.08.2025).
6. Uebersax, M. A., Siddiq, M. Dry Beans and Pulses: Production, Processing, and Nutrition. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118448298> (date of access 22.08.2025).
7. Faliarizao, N., Berrios, J. D. J., Dolan, K. D. (2024). Value-Added Processing of Food Legumes Using Extrusion Technology: A Review. *Legume Science*, 6(2), 231.
8. Pedrosa, M. M., Guillamón, E., Arribas, C. (2021). Autoclaved and extruded legumes as a source of bioactive phytochemicals: A review. *Foods*, 10(2), 379. <https://doi.org/10.3390/foods10020379>.

9. Lechevalier-Datin, V. Effect of thermal processing on the digestion of egg proteins. URL: <https://institut-agro-rennes-angers.hal.science/hal-04630015v1/document> (date of access 22.08.2025).
10. Чабаненко, Є., Мельник, О. (2025). Метод екструзійної обробки бобових на їх поживні властивості та перспективи використання. *Herald of Khmelnytskyi National University Technical sciences*, 351, 542—548.
11. Kinza, M. (2023). Effect of thermal processing on the digestion of plant proteins. In: *Processing Technologies and Food Protein Digestion*. Academic Press. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B97803239508> (date of access: 10.08.2025).
12. Koriyama, T., Teranaka, K., Kumagai, M. (2025). Impact of Roasting on Functional Properties of Hard-to-Cook Beans Under Adverse Storage Conditions. *Foods*. URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/14/3/470> (date of access 20.08.2025).
13. Verma, A. (2018). Rhizosphere metabolite profiling: an opportunity to understand plant-microbe interactions for crop improvement. In: *Crop improvement through microbial biotechnology*. Elsevier. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780444639875000177> (date of access 20.08.2025).
14. Queirós, R., Ferreira, R., Saraiva, J. A. (2023). High-pressure effects on selected properties of pea and soy protein isolates. *Applied Sciences*. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/4/2359> (date of access 20.08.2025).
15. Nasrabadi, M. N., Doost, A. S., Mezzenga, R. (2021). Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products. *Food Hydrocolloids*, 118, 2—23. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X21002058> (date of access 25.08.2025).

УДК 663.2

INFLUENCE OF UKRAINIAN TERROIRS ON THE QUALITY OF DRY RED WINES

I. Babych¹, L. Melnyk¹, N. Frolova¹, O. Lytovchenko², R. Kyrylenko¹¹National University of Food Technologies²Institute of Horticulture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Key words:

grapes,
Cabernet Sauvignon,
Merlot,
terroir,
dry red wine materials,
phenolic and coloring
substances

Article history:

Received 18.08.2025
Received in revised form
28.08.2025
Accepted 31.08.2025

Corresponding author:

5613694@ukr.net

ABSTRACT

In order to determine the priority areas of development of the horticulture, viticulture and winemaking industries, taking into account the decisions of scientific and practical conferences held by the Ministry of Agrarian Policy jointly with the UAAS, and proposals made by representatives of public and industry groups and specialists of specialized enterprises, the Concept of the Sectoral Program for the Development of Horticulture in Ukraine for the period until 2025 and the Concept of the Sectoral Program for the Development of Viticulture and Winemaking in Ukraine for the period until 2025 were approved.

The article explores the importance of studying issues related to the development and creation of terroir dry red wines for a specific grape growing area. First of all, we can say that all the quality characteristics of the finished product directly depend on the raw materials, that is, from grapes, and the quality of grapes directly depends on the terroir where these grapes were grown.

The research describes the terroirs of the Odessa and Kherson regions, which have similar climatic conditions, but produce wines that differ in style. The climate is temperate continental with mild, little-snowy winters and hot, dry summers. Only in terms of annual precipitation does the Odesa region (3200—3600 °C) differ from the Kherson region (3200—3400 °C) in terms of precipitation, which is higher, which provides more extractive wine materials.

For the Transcarpathian region, brown earth-podzolic soils, sod-brown earth podzolic stony-clay soils, which are poor in nutrients and require regular fertilization.

It has been established that wine materials from the Odessa region are characterized by greater extractivity, alcohol content and harmony. The taste and aromatic qualities of the berries allow for the production of outstanding wines, which form the basis of collections.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-4

ВПЛИВ УКРАЇНСЬКИХ ТЕРУАРІВ НА ЯКІСТЬ ЧЕРВОНИХ СУХИХ ВИН

І. М. Бабич, канд. техн. наук, ORCID ID 0000-0002-3058-3062
Л. М. Мельник, д-р техн. наук, ORCID ID 0000-0002-2346-564X
Н. Е. Фролова, д-р техн. наук, ORCID ID 0000-0001-9661-1540
Національний університет харчових технологій
О. М. Литовченко, д-р техн. наук, ORCID ID 0000-0003-42692263
Інститут садівництва Національної академії аграрних наук України
Р. Г. Кириленко, канд. техн. наук, ORCID ID 0000-0003-3263-1950
Національний університет харчових технологій

З метою визначення пріоритетних напрямків розвитку галузей садівництва, виноградарства та виноробства, зважаючи на рішення науково-практичних конференцій, проведених Мінагрополітики спільно з УААН, та пропозиції, внесені представниками громадських та галузевих формувань і фахівцями спеціалізованих підприємств, була схвалена Концепція галузевої Програми розвитку садівництва України на період до 2025 року і Концепції галузевої Програми розвитку виноградарства та виноробства України на період до 2025 року.

У статті досліджено виготовлення сухих червоних вин для виноградних регіонів в Україні. Всі якісні характеристики готового продукту напряму залежать від сировини, тобто від винограду, а якість винограду безпосередньо залежить від теруару де цей виноград був вирощений. До складових теруару ще додається генетична пам'ять людей, які протягом багатьох років історично вирощують виноград і роблять вино в певному регіоні.

Практична реалізація основних положень законопроекту забезпечить сприятливі умови для розвитку галузі теруарного виноробства (вин місцевості), виробництва плодово-ягідних вин та унікальних медових напоїв з виноматеріалів виключно власного виробництва (не придбаних), отриманих шляхом переробки плодів, ягід, винограду, меду власного виробництва. Це надасть можливість малим підприємствам створювати унікальні вина місцевості, організувати нові робочі місця і збільшити надходження до державного та місцевих бюджетів.

Відновлення роботи малого бізнесу в галузі виноробства дозволить зменшити монополізацію та розширити випуск вітчизняної високоякісної конкурентоспроможної продукції, зацікавити сільськогосподарські підприємства у відновленні та розширенні виноградників і насаджень плодово-ягідних культур. Також прийняття цієї законодавчої ініціативи сприятиме розвитку винного туризму в Україні.

У дослідженні описано теруари Одеської і Херсонської області, які мають наближені одна до одної кліматичні умови, однак отримують різні за стилем вина. Клімат помірно-континентальний з м'якою малосніжною зимою та жарким посушливим літом. Лише за кількістю опадів на рік Одеська область (3200—3600 °C) відрізняється від Херсонської області (3200—3400 °C) в сторону збільшення, що забезпечує екстрактивніші виноматеріали.

Для Закарпатської області характерні буроземно-підзолисті ґрунти, дерново-буроземні підзолені кам'янисто-глинисті ґрунти, які бідні на поживні речовини і потребують регулярного внесення добрив.

Ключові слова: виноград, Каберне-Совін'йон, Мерло, теруар, червоні сухі виноматеріали, фенольні і барвні речовини.

Вступ. Високоякісні показники винограду й одержуваного з нього вина досягаються у разі отримання оптимального балансу між факторами навколишнього середовища, сортами винограду і кращими виноробними технологіями. Ефект ґрунту,

клімату, рельєфу нероздільні, і поєднання всіх природних факторів формує концепцію теруару [13].

Актуальним є створення теруарних сухих червоних вин для конкретної зони вирощування винограду. На сьогодні зростає попит населення на червоні сухі сортові вина завдяки їх лікувально-профілактичним властивостям [3, 4].

Провідні вчені і фахівці стверджують, що Україна повинна перейняти світовий досвід при висадці сортів винограду на певній місцевості. Для цього, на думку експертів, необхідно створити карту виноградарських регіонів і дати їй науковий супровід. Теруарні вина України, в букеті яких добре помітні особливості, характерні для вин з цієї території, необхідно легітимізувати, що є невирішеним завданням сьогодні. Актуальним є створення теруарних сухих червоних вин для конкретної зони вирощування винограду.

Верховна Рада України ще 20 березня 2018 року ухвалила закон «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо розвитку виробництва теруарних вин і натуральних медових напоїв». Документ передбачив спрощену процедуру ліцензування виробництва для малих виробництв виноробної продукції на основі декларативного принципу, тому виробництво теруарних вин стрімко зростає, а наукові дослідження є актуальними [9].

Огляд останніх досліджень і публікацій. Багатьма вченими в різних куточках світу вивчався вплив теруару і дріжджів на якість та ароматичний профіль вин. Вплив теруару і винних дріжджів у ферментації вивчався у працях багатьох вчених: Луї Пастера, С. А. Кишковської, М. А. Ельдарова, Marina Gammacurta, Cantine Barbera та ін., які зазначали, що різні типи ґрунтів і дріжджів суттєво впливають на хід і формування ароматичного профілю вин. Знаючи ці процеси, можна управляти ферментацією і створювати вина з бажаними характеристиками.

Протягом останніх років численні публікації науковців свідчать про значний інтерес до проблем сучасного розвитку українського виноградарства та виноробства на рівні країни й окремих регіонів, а також до місця вітчизняних виробників вина на світовому ринку. Зокрема, в науковій публікації О. А. Авласенко [1] проаналізовано сучасні тенденції розвитку світового ринку вина та надано рекомендації з підвищення світової конкурентоспроможності української виноробної галузі. Практичні аспекти оцінки конкурентоспроможності та перспективи розвитку аграрних підприємств досліджувала В. О. Бойко [2].

Дослідження та праці вітчизняних науковців допомагають виявити сучасний стан, перспективи розвитку та тенденції виноградарства і виноробства. Ці проблеми висвітлені в працях А. А. Бревнова, Л. А. Осипової, О. Б. Каламан [9]. Науковими дослідженнями підтверджено, що склад ґрунту, кількість сонця, поливу відображалися на органолептичних характеристиках вин. Досвід світових лідерів у виробництві вина, які мають плантації винограду на різних за складом та якістю ґрунтах, показують, як впливає склад їх на червоні вина.

Незважаючи на те, що теруарні вина мають велику популярність у світі, в Україні ці вина представлені в дуже обмеженій кількості. Натепер лише декілька компаній виготовляють теруарні столові сухі вина: «Виноробне господарство князя П. Н. Трубецького», «Шабон», «Колоніст», «Шато Чізей».

Різноманітність ґрунтово-кліматичних умов північного Причорномор'я, особливості ландшафту, наявність схилів різних експозицій дозволяють виділити природні виноградарські макрозони, а в межах цих зон — мезозони з детальною спрямованістю виноградарства для вирощування одного або декількох сортів, придатних для приготування певного типу вина.

У світовій науковій спільноті інтерес до розуміння особливостей та взаємозв'язків між багатьма факторами теруару постійно зростає [11, 12]. Про це свідчить пошук за ключовим словом «terroir» у базі даних Scopus, що призводить до ідентифікації 385 опублікованих праць з 1980 по 2014 рік (вересень). Виготовлення теруарних столових сухих вин в Україні тільки зароджуються. У виноробів нашої країни є можливість створення вин високої якості та конкурентоспроможності.

Мета статті: дослідження впливу факторів зовнішнього середовища на формування якісних показників червоних столових сухих виноматеріалів різних регіонів виноробства України.

Для досягнення мети необхідно було вирішити такі завдання: охарактеризувати зони виноградарства і виноробства України для виробництва столових червоних сухих виноматеріалів; оцінити за органолептичними та фізико-хімічними показниками виноматеріали, виготовлені в різних зонах, і встановити їх особливості; обґрунтувати вибір оптимальної технологічної схеми для виробництва столових червоних сухих виноматеріалів для кожного регіону виноробства.

Матеріали і методи. Сухі червоні виноматеріали виготовляли із сортів винограду Мерло і Каберне Совінйон, вирощених на території Одеської, Херсонської і Закарпатської областей. Для визначення вмісту цукрів використовували метод Бертра-на, для визначення вмісту титрованих кислот використовували метод прямого титрування, для визначення вмісту діоксиду сірки використовували метод титрування в одній пробі, водневий показник рН визначали за допомогою потенціометричного методу, технологічний запас фенольних речовин визначали з допомогою розчину Фоліна-Чокальтеу [12].

Результати і обговорення. Основними сортами винограду для виготовлення столових червоних сухих виноматеріалів в нашій країні є: Каберне-Совінйон, Мерло, Піно Нуар, Сапераві, Одеський чорний, Бастардо Магарацький. Для дослідження обрано поширені в Україні сорти винограду Каберне-Совінйон і Мерло. Результати досліджень теруарів Одеської, Херсонської і Закарпатської областей наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Агрокліматичні показники регіонів вирощування винограду

Регіон	Сума активних температур, °С	Середня температура самого теплого місяця, °С	Кількість опадів на рік, мм	Тип ґрунту
Одеська область	3200—3600	22—24	330—450	Каштанові, чорноземи південні
Херсонська область	3200—3400	22—23	300—420	Чорноземи південні, каштанові
Закарпатська область	2000—3200	15—25	180—320	Дерново-буроземні гірські кам'янисто-глинисті, суглинкові

Згідно з отриманими результатами (табл. 1), в Одеській області на півночі — чорноземи звичайні; на півдні — чорноземи південні, каштанові та темно-каштанові. Більша частина області лежить у межах Причорноморської низовини, ґрунти мають найнижчі значення концентрації азоту і калію із середнім вмістом фосфору.

Серед зональних типів ґрунтів Херсонської області переважають чорноземи південні малогумусні і слабогумусні, які змінюються чорноземами південними солонцюватими, а південніше — каштановими солонцюватими ґрунтами. Херсонська область розташована в посушливій степовій зоні півдня України. Поверхня — слабовхвиляста рівнина, нахилена на південь. Одеська і Херсонська області мають наближені одна до одної кліматичні умови. Ґрунти Херсонської області відрізняються високим вмістом калію, середнім — азоту, незначним вмістом фосфору.

Для Закарпатської області характерні лучно-буроземні кислі та алювіальні дерново-буроземні ґрунти. В Іршавському, Мукачівському та Ужгородському районах поширені буроземно-підзолисті ґрунти, частина виноградників розміщена на дерново-буроземних опідзолених кам'янисто-глинистих ґрунтах, які бідні на поживні речовини і потребують регулярного внесення добрив.

Важливим показником для росту і розвитку винограду є вміст у ґрунті поживних речовин, найголовнішими з яких є азот, фосфор і калій. З винограду, вирощеного на ґрунтах з високим вмістом азоту, отримують вина, бідні на екстракт, барвні речовини і танін. Ці вина важко освітлюються, повільно дозрівають, легше піддаються захворюванням і мають більш слабкий аромат [11].

З винограду, вирощеного на ґрунтах, багатих калієм, виходять більш екстрактивні вина, багаті фенольними і барвними речовинами. При нестачі калію знижується цукристість і підвищується кислотність соку ягід.

Високий вміст фосфору в рослині сприяє підвищенню коефіцієнта плодоношення, накопичення цукру в ягодах при цьому поліпшується.

У табл. 2 приведено фізико-хімічні показники винограду із сортів Каберне-Совіньйон та Мерло сезону 2024 року.

Таблиця 2. Фізико-хімічні показники винограду із сортів Каберне-Совіньйон і Мерло

Сорт винограду/ регіон України	Масова концентрація цукрів, г/дм ³	pH	Масова концентрація титрованих кислот, г/дм ³	SO ₂ зв'язуюча властивість, мг/дм ³
Каберне-Совіньйон				
Одеська область	230,5	3,2	5,3	156,2
Херсонська область	225,0	2,8	7,5	57,6
Закарпатська область	212	2,6	10,1	35,8
Мерло				
Одеська область	225,0	3,1	5,5	160,1
Херсонська область	220,0	2,8	7,9	65,3
Закарпатська область	215,0	2,9	9,3	60,5

З даних (табл. 1) видно, що сорти Каберне-Совіньйон і Мерло за своїми фізико-хімічними показниками відповідають нормам, що дозволяє їх переробку на вина підвищеної якості згідно з ДСТУ 2366-2009 «Виноград свіжий технічний. Технічні умови» [3].

Водневі показники (pH) для виноматеріалів зазначених сортів і регіонів вирощування знаходяться в межах 2,7—3,6, що відповідають вимогам [3].

На наступному етапі досліджень було проведено аналіз технологічного запасу фенольних речовин — це кількісна характеристика вмісту фенольних сполук у винограді, яка показує, яку кількість фенолів можна вилучити під час технологічних процесів, наприклад, під час виробництва вина. Цей показник визначає потенціал

сировини для утворення кольору, смаку та стабільності вина, оскільки фенольні речовини впливають на його органолептичні властивості та здатність до зберігання.

Представлено технологічний запас фенольних сполук (рис. 2) у винограді за сезон 2024 року.

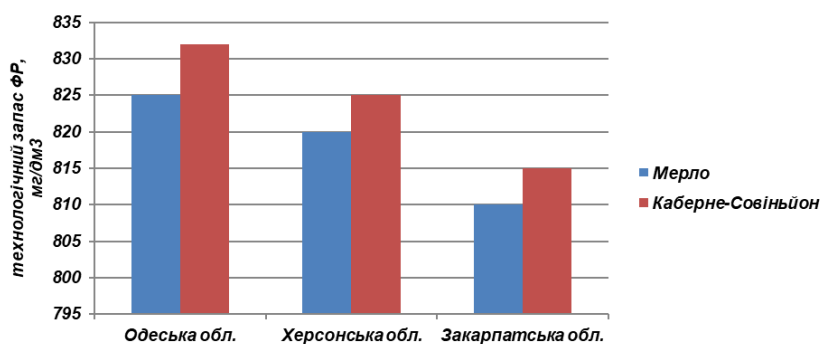


Рис. 1. Технологічний запас фенольних речовин у винограді (ФР — фенольні речовини)

Як видно з рис. 1, технологічний запас фенольних речовин у винограді Каберне-Совіньйон та Мерло відрізняється і залежить безпосередньо від теруару регіону України, де вирощений цей виноград. Це свідчить про те, що вина з Одеської області будуть мати більш насичений аромат і смак вина. Фенольні речовини беруть активну участь у процесах, які відбуваються на всіх етапах виготовлення вина, тобто в окисно-відновних реакціях, у реакціях з азотистими речовинами, альдегідами і вуглеводами [15, 16].

Результати дослідження основних органічних кислот столового червоного сухого вина. Органічні кислоти частково надходять у вино з винограду і частково утворюються у процесі ферментації як інтермедіанти метаболізму дріжджів.

Активна кислотність вин знаходиться у межах 2,8—3,8. Органічні кислоти перебувають у винах переважно у зв'язаному або напівзв'язаному стані. Вони визначають бактерицидні, смакові й ароматичні властивості вина.

У кислому середовищі окисновідновні процеси відбуваються повільніше, що гальмує дозрівання вина, але запобігає металічним і залізофосфатним помутнінням. Кислоти беруть участь у створенні букету вина, утворюючи зі спиртами складні ефіри. Дані про концентрацію основних органічних кислот вина наведено у табл. 3.

Таблиця 3. Розподіл органічних кислот у червоних виноматеріалах різних теруарів України

Назва показника	Регіони України			Норма
	Одеська область	Херсонська область	Закарпатська область	
Масова концентрація кислоти, г/дм ³				
винної	2,8	2,04	2,60	1,5—5,5
яблучної	2,2	2,3	3,10	до 5,0
лимонної	0,73	0,55	0,50	до 0,8
оцтової	0,6	0,54	0,54	0,3—1,5
молочної	0,32	0,23	0,28	0,5—5,0
глюконової	0,85	0,84	0,74	до 0,9
янтарної	1,5	0,6	0,50	0,5—1,5

Кращі органолептичні показники спостерігаються у виноматеріалах з Одеської області, що зумовлені вищим вмістом лимонної та винної кислот. Вважається, що підвищений вміст яблучної кислоти у вині надає йому присмаку зелених ягід, тому особливе практичне значення має перетворення молочнокислими бактеріями дикарбоксильної яблучної кислоти на монокарбоксильну молочну кислоту, яка має м'якший смак і робить вино більш гармонійним. Водночас велика кількість молочної кислоти також негативно впливає на смакові якості вина, особливо якщо бродіння відбувається у присутності гетеротрофних молочнокислих бактерій. У цьому разі утворюються ацетат, діацетил та інші речовини, що псують смак вина. Смак вина залежить головним чином від співвідношення винної та яблучної кислот [11, 12]. Якщо це співвідношення нижче 2, вино є негармонійним. Вино з кращим смаком і букетом утворюється за співвідношення винної і яблучної кислот вище 3.

Важливо відзначити, що визначення концентрації оцтової кислоти дозволяє виявити фальсифікати вина, які є сумішшю виноградного соку, що не добродив, зі спиртом і цукром. У такому випадку оцтова кислота міститься в кількостях, характерних для виноградного суслу (до $0,05 \text{ г/дм}^3$, тоді як у вині її вміст становить $0,3\text{—}1,5 \text{ г/дм}^3$).

Окрім того, вміст оцтової кислоти в натуральних винах лімітується, оскільки вона істотно впливає на органолептичні властивості вина та надає різкості його смаку [7, 8].

Водневий показник (рН) для виноматеріалів всіх сортів і зон знаходяться в межах $2,7\text{—}3,6$, що відповідають вимогам ДСТУ2366-2009 «Виноград свіжий технічний. Технічні умови».

Технологічний запас фенольних речовин у винограді Каберне-Совіньйон та Мерло залежить від теруару регіону України, де вирощений цей виноград. Це свідчить про те, що вина з Одеської області будуть мати більш насичений колір, виражений аромат і смак.

Переробку винограду проводили за червоним способом, отриманий виноматеріал було оцінено дегустаційною комісією і визначено якість виготовлених зразків. Застосування дескрипторної органолептичної оцінки дозволило розкрити сенсорну характеристику зразків вина Каберне Совіньйон і Мерло, які представлені на рис. 2 і 3.

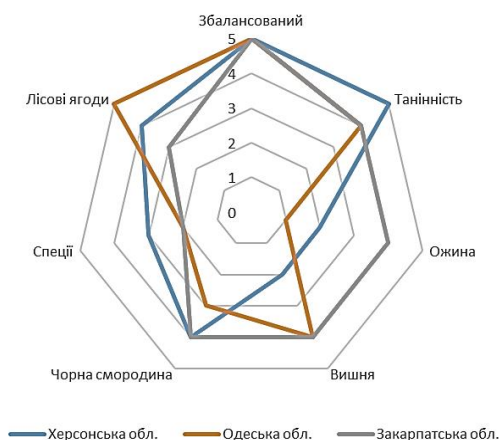


Рис. 2. Профілограма сенсорного оцінювання червоного вина Каберне Совіньйон

З аналізу дискрипторів смако-ароматичних показників (рис. 2) визначено особливості виноматеріалів, одержаних в умовах різних регіонів. Так, Каберне-Совіньйон з Одеської області відрізняється насиченим кольором, смак збалансований, ягідний з приємною терпкістю та довгим післясмаком. В ароматі ноти чорної смородини, вишні, лісових ягід.

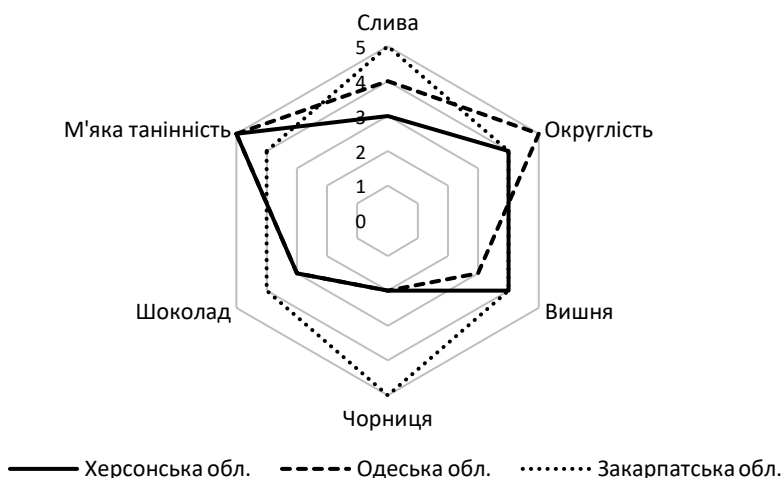


Рис. 3. Профілограма сенсорного оцінювання червоного вина Мерло

Клімат Одеської області сприяє високому накопиченню масової концентрації цукрів у сорті винограду Каберне-Совіньйон ($230,5 \text{ г/дм}^3$), що дозволяє отримати спиртуозні вина, які будуть мати потенціал до витримки.

Сухе червоне вино Каберне-Совіньйон, виготовлене в закарпатському регіоні, має класичні риси сорту з додаванням унікальних властивостей місцевого теруару: насичений рубіновий колір, аромат чорної смородини та ожини, а також збалансований смак з м'якими танінами, що надають вину структуру й тривалий післясмак.

Сухе Каберне-Совіньйон херсонського виробника буде мати насичений рубіновий колір, аромат з нотами чорної смородини, ожини, вишні, а також прянощів, смак збалансований, з вираженими танінами, а післясмак — тривалий.

У Херсонській області виноградники зосереджені на темно-каштанових ґрунтах, у тому числі чорноземах південних, і з цього винограду отримують переважно високої якості столові сухі виноматеріали.

Ґрунти Херсонської області відрізняються високим вмістом калію (2,7%), середнім — азоту, незначним вмістом фосфору, що призводить до накопичення у винограді великої кількості барвних речовин для сорту Каберне-Совіньйон і Мерло. Сума денних і нічних температур, присутність водойм недалеко від виноградників роблять кліматичні умови регіону оптимальними для культивування винограду.

Червоне сухе вино Мерло від херсонського виробника має насичений бордовий колір, аромат вишні, ожини, спецій, а також м'який смак з помірними танінами (рис. 3). Одеське Мерло має смак танінний з нотами вишні, м'якими танінами. Сухе вино Мерло, виготовлене в закарпатському регіоні, характеризується м'яким, округлим смаком з ароматом сливи, вишні, чорниці, спецій.

У Закарпатській області поєднано м'яке сонце й оптимальну кількість опадів, гориста місцевість захищає виноградники від північних вітрів, а багатий мінералами і мікроелементами ґрунт надає винограду неповторного смаку, а вину — особливий

характер. Клімат тут помірно континентальний. Грунтовий покрив площ, зайнятих виноградниками, представлений буроземно-підзолистими, середньосуглинистим, бурими гірсько-лісовими глибокими та середньоглибокими, дерново-буроземними опідзоленими ґрунтами, що пришвидшує дозрівання винограду.

Висновки. Оскільки традиції виготовлення теруарних столових сухих вин в Україні тільки зароджуються, у виноробів нашої країни є можливість створення конкурентоспроможних вин високої якості.

Встановлено, що теруар місцевості, місцеві сорти винограду і технологія виробництва здійснюють загальний вплив на формування фізико-хімічних показників винограду, що в подальшому відображається на якості столових червоних сухих вино-матеріалів.

Сорти винограду Каберне-Совіньйон та Мерло мають кондиції, що дозволяють їх переробляти на червоні столові вина. Технологічний запас фенольних речовин зростає в міру збільшення вмісту цукрів у винограді. Відсоток переходу фенольних речовин у сусло залежить від схеми переробки винограду.

ЛІТЕРАТУРА

1. Авласенко, О. А. (2014). Сучасні тенденції розвитку виноробства в Україні і її регіонах. *Ефективна економіка*, 6.
2. Бойко, В. О., Аверчева, Н. О., Бойко, Л. О. (2019). Виноградарсько-виноробна галузь України — перспективний напрям агробізнесу. *Економіка АПК*, 3, 61—70.
3. Концепція галузевої Програми розвитку виноградарства та виноробства України на період до 2025 року. *М-во аграр. політики та продовольства України*. <http://minagro.gov.ua> (дата звернення: 15.08.2025).
4. Кучеренко, В. М. (2016). *Формування та розвиток аграрної ринкової інституції виноробної галузі*: автореф. дис. ... канд. екон. наук: 08.00.03. Київ.
5. Стан виноробної галузі у світі: веб-сайт <http://takeprofit.org/economicnews.php>.
6. Державна служба статистики України: веб-сайт <http://www.ukrstat.gov.ua>.
7. Bilko, M., Gunko, S., Babich, I., Naumenko, O., Mukoid, R., Ischenko, M., Doboniy, I., Danylenko, S., Bovkun, A., Stotska, O. (2022). Investigation of the appearance and elimination of pinking coloration in white wines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(11(115)), 56—62. <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/66749916-301d-4688-9770-65106428e7b2/content>.
8. Бабич, І. М., Бондар, М. В., Бойко, П. М., Прибильський, В. Л. (2022). Географічне зазначення як фактор забезпечення конкурентоспроможності українських вин. *Наука, технології, інновації*, 3(23), 26—29. <http://doi.org/10.35668/2520-6524-2022-3-03>.
9. Яблонська, Н. В., Крупіна, С. В. (2018). Проблеми підвищення конкурентоспроможності підприємств виноробної галузі України. *Економіка та управління підприємствами*, 16, 147.
10. Закон України № 2360-VIII Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо розвитку виробництва теруарних вин і натуральних медових напоїв. *Відомості Верховної Ради України*, 2018, 17, 151.
11. Теруарне вино: бути чи не бути? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://agravery.com/uk/posts/show/teruarne-vino-buti-ci-ne-buti> (дата звернення: 18.09.2025).
12. *Методи технохімічного контролю в виноробстві* / Під ред. В.Г. Гержикової. 2-е вид. Симферополь: Тавріда, 2009.
13. Nestenko Y'. Terruar. <https://wineclass.club/terroir.htm>.
14. Ковалевський, К. А., Валько, М. І., Мамай, О. І. (2018). *Інноваційні технології виноробства. Бродильні апарати і установки*: навчальний посібник. Херсон: ХНТУ.

УДК 621.798

FEATURES OF USING FUNCTIONAL EDIBLE TABLEWARE MADE FROM NON-TRADITIONAL RAW MATERIALS IN THE RESTAURANT BUSINESS

T. Sylchuk, V. Zuiko, V. Tsyrunnikova
National University of Food Technologies

Key words:

edible tableware,
restaurant business,
shortcrust pastry,
functional properties,
green buckwheat,
wheat bran,
flaxseed

Article history:

Received 22.08.2025
Received in revised form
24.08.2025
Accepted 28.08.2025

Corresponding author:
tsnuft@gmail.com

ABSTRACT

This article explores an innovative approach to expanding the product range in the restaurant industry through the implementation of edible tableware based on modified shortcrust pastry. The study analyzes current eco-friendly trends in the HoReCa sector and real-world cases of edible packaging usage in Ukraine and abroad. Experimental research was conducted to optimize the formulation using a finely ground mixture of flaxseed, green buckwheat, and wheat bran. The results of the conducted study confirm the effectiveness of using a finely ground grain mixture (flaxseed, green buckwheat, wheat bran) as a functional ingredient for improving the recipe of edible tableware based on shortcrust pastry. The optimal component ratio ensured a balance between technological, organoleptic, and physicochemical characteristics.

The quality polygon area assessment demonstrated that sample No. 2 (50/50) had advantages over the other formulations in terms of overall sensory indicators. The polygon area for this sample exceeded the control by 40.7%, sample No. 1 (60/40) by 10.3%, and sample No. 3 (40/60) by 6.3%.

A significant reduction in product brittleness (by a factor of 3.7), improved hydration capacity (by 19.4%), and enhanced water retention were achieved. These properties allow the product to be used for serving hot puréed dishes without losing its shape or functionality.

It was also established that the grain components enrich the final product with dietary fiber, bioactive compounds, and microelements, allowing it to be positioned as a functional component of a dish.

The developed technology shows high potential for implementation in restaurant operations, particularly in the fast casual segment and enterprises following the zero-waste concept. Future research should focus on further recipe optimization using local raw materials and natural colorants, as well as evaluating consumer perception under real restaurant conditions.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-5

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ІСТІВНОГО ПОСУДУ З НЕТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ В РЕСТОРАННОМУ БІЗНЕСІ

Т. А. Сильчук, д-р техн. наук, ORCID ID: 0000-0001-8035-4957

В. І. Зуйко, канд. Техн. наук, ORCID ID: 0000-0001-9333-4234

В. В. Цирульнікова, канд. техн. наук, ORCID ID: 0000-0003-1531-5016

Національний університет харчових технологій

Досліджено інноваційний підхід до розширення асортименту продукції закладів ресторанного господарства шляхом впровадження істівного посуду на основі пісочного тіста. Проаналізовано екологічні тенденції у сфері HoReCa та приклади використання істівного посуду в Україні та світі. Наведено результати досліджень щодо оптимізації рецептури на основі суміші льону, зеленої гречки та пшеничних висівків. Встановлено оптимальне співвідношення основних компонентів, яке забезпечує високу міцність, знижену крихкість, підвищену гідратаційну здатність і вологоутримувальні властивості. Результати підтверджують перспективність використання функціонального істівного посуду як складової концепції zero-waste в ресторанному бізнесі.

Ключові слова: істівний посуд, ресторанний бізнес, нетрадиційна сировина, тісто, зелена гречка, пшеничні висівки, льон.

Вступ. Сучасні динамічні зміни на ринку продукції та послуг сьогодні диктують закладам, установам і підприємствам нові умови функціонування та менеджменту праці. Ці зміни зачепили ресторанний бізнес зокрема та сферу гостинності в цілому. Питання комплексного показника якості, безпечності, відповідального споживання товарів і послуг набули більшої вагомості при оцінюванні продукту.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Важливим є врахування тенденцій розвитку галузі, які визначаються ринком і потенційними відвідувачами закладу ресторанного господарства. Тут доцільне застосування концепції Марка Андрессена — Product market fit (PMF). Це маркетинговий показник, який відображає ступінь відповідності реалізованого компанією продукту інтересам цільової аудиторії [2]. За успішного впровадження обраної стратегії споживачі будуть не лише активно купувати товари або послуги, але й рекомендувати їх друзям. Відповідно до цієї концепції, якщо тренд або тенденція охоплює 15—16% ринку, то вони вважається такими, що мають потенціал до масового впровадження. Одним із таких важливих трендів, які стабільно збільшують коло своїх прихильників, є попит на екологічно орієнтовані рішення у виготовленні, реалізації й утилізації результатів діяльності виробництв. Ресторанний бізнес, у свою чергу, пропонує рішення у форматі заміни частини посуду з синтетичних матеріалів на істівний. Це корелює з концепцією Eco-friendly технологій, рекомендованої ЄС [4—6].

Істівний посуд розглядається як чинник зменшення екологічного навантаження, зокрема шляхом скорочення лісозаготівель, водоспоживання та обсягів утилізації синтетичних матеріалів. У світі системно розвивається напрям істівного посуду як екологічної альтернативи пластику. Такі вироби виконують функцію подавання їжі, не потребують утилізації та можуть споживатися разом зі стравою або напоєм. Їх застосовують у ресторанному бізнесі, кейтерингу та вуличній їжі.

Серед відомих прикладів — компанія Bakey's (Індія). Вона виготовляє істівні ложки з соргуму, пшениці та рису. Продукція витримує взаємодію з гарячими стравами

й розкладається за кілька днів, якщо не була спожита. У США діють бренди InceDible Eats, TwentyFiftyFork, Edibles by Jack. Вони виробляють їстівні виделки, ложки і трубочки з пшеничного, кукурудзяного чи сочевичного борошна. Їх використовують у кафе та на заходах, особливо для десертів і закусок [7—11].

У Великій Британії компанія Skipping Rocks Lab розробила водяні капсули Ooho! на основі морських водоростей. Вони використовуються для подавання напоїв і закусок, мають можливість ароматизації та забарвлення, повністю біологічно розкладаються за 4—6 тижнів [8]. Інша британська компанія Butt Foods запровадила сервірування гарячих страв у хлібних формах. Такий посуд витримує нагрівання в мікрохвильовій печі та підходить для повторного використання в межах одного споживання [7—11].

Компанія Do Eat (Бельгії) виготовляє їстівні контейнери з картопляного крохмалю та води. Вони підходять для солоних і солодких страв, мають нейтральний смак, зберігаються до 6 місяців і розкладаються. Для споживання потребують запікання або підігріву [7—11].

Польське серійне виробництво біорозкладного посуду Bioterm з пшеничних висівок пропонує термостійкі вироби, які витримують нагрівання до 200 °С, підходять для гарячих страв і повністю розкладаються за 30 діб [7—11].

У Словаччині реалізується кейс залучення їстівних супових стаканчиків, ініційований українськими підприємцями. Продукт подається без столових приборів. Суп споживається разом із запеченим контейнером, який готується у спеціальній печі за 3—5 хв.

У Японії створено їстівні галетні тарілки з рисового борошна, солі та води, які використовуються у закладах ресторанного господарства.

У Німеччині розроблено молочні контейнери для кави на основі кристалізованого згущеного молока. Вони мають форму кубиків, повністю розчиняються в гарячому напої й слугують як заміна пластиковим капсулам. До складу включено сахарозу або еритрит для інкапсуляції [7—11].

Мета досліджень полягає у розробленні технології функціонального їстівного посуду на основі пісочного тіста з нетрадиційної сировини для подавання пореподібних страв у закладах ресторанного господарства, що працюють у форматі fast casual, з урахуванням принципів екологічності, технологічної ефективності та споживчої цінності.

Матеріали і методи. Проводили дослідження зразків їстівного посуду на основі пісочного тіста. Приготування тіста, формування та випікання зразків здійснювали відповідно до умов стандарту ДСТУ 3781:2019 та загальноприйнятих методик [15]. Визначення органолептичних показників здійснювали за методикою ДСТУ ISO 6658:2005 із використанням 5-бальної шкали та побудовою профілограм якості. Показники гідратації, вмісту зв'язаної води, кислотності та масової частки сухих речовин в тісті та готових виробах визначали за методиками, адаптованими до технічних умов ТУ У 15.8-00034022-046:2005. Оцінку крихкості проводили за методом інтенсивного струшування згідно з ТУ У 15.8-00386028-001:2007.

Результати досліджень. З огляду на тенденції зростання попиту на екологічно орієнтовані рішення та успішний досвід у цій сфері запропоновано технологію їстівного посуду для подавання пореподібних супів.

Як прототипу обрал використання пісочного тіста, характерного для тартинок, із подальшою модифікацією рецептури з метою підвищення функціональних властивостей. Завдяки високій масовій частці жиру пісочне тісто має достатню міцність і

водопоглинальну здатність, що є визначальними для створення функціонального їстівного посуду. Водночас крихкість такого виробу обмежує його використання для подавання гарячих страв.

З метою підвищення структурно-механічної стійкості та покращення гідратаційних властивостей було запропоновано часткову заміну пшеничного борошна на подрібнену дрібнодисперсну суміш льону, зеленої гречки та пшеничних висівок (суміш «Здоров'я»).

Внесення до рецептури тіста із суміші на основі подрібненого льону зеленої гречки та пшеничних висівок забезпечило покращення структурно-механічних властивостей їстівного посуду, зокрема зниження крихкості, підвищення гідратаційної здатності та стійкості до дії вологи й температури. Крім технологічної ефективності, зазначена суміш є джерелом цінних біологічно активних речовин (БАР), таких як альфаліноленова кислота (омега-3), лігнани, токофероли, пектинові речовини, рутин, фолієва кислота, вітаміни В₁, В₆, магній і залізо. Льон збагачує продукт омега-3 жирними кислотами та антиоксидантами, зелена гречка — флавоноїдами (особливо рутином) та незамінними амінокислотами, а пшеничні висівки — дістичними волокнами та вітамінами групи В [11—14]. Сукупність цих компонентів сприяє зниженню глікемічного індексу продукту, підтриманню нормального рівня холестерину та загальному поліпшенню травлення, що дозволяє позиціонувати інноваційний їстівний посуд не лише як екологічну, а й як функціонально-корисну частину страви.

Дослідження проводили в межах варіювання співвідношення компонентів у базовій рецептурі, де зразки мали співвідношення пшеничного борошна та суміші «Здоров'я» (з насіння льону, зеленої гречки та пшеничних висівок) 40/60 (зразок 1), 50/50 (зразок 2) та 60/40 (зразок 3).

У результаті серії пробних випікань визначено, що оптимальне співвідношення борошна та суміші «Здоров'я» для досягнення балансу між структурними та органолептичними властивостями становить 50/50. При співвідношенні 40/60 зразки виявили найкращу стійкість до води, але надмірно щільну структуру, що ускладнює їх споживання (рис. 1, 2).



Рис. 1. Профілограма якості досліджуваних зразків їстівного посуду

Органолептична оцінка підтвердила високу якість зразків із рецептурою 50/50. Вироби зі співвідношенням 60/40 характеризувались надмірною крихкістю, а в разі

40/60 — появою гіркуватого присмаку, ймовірно пов'язаного з високим вмістом поліфенольних сполук у злакових рецептурних компонентах.

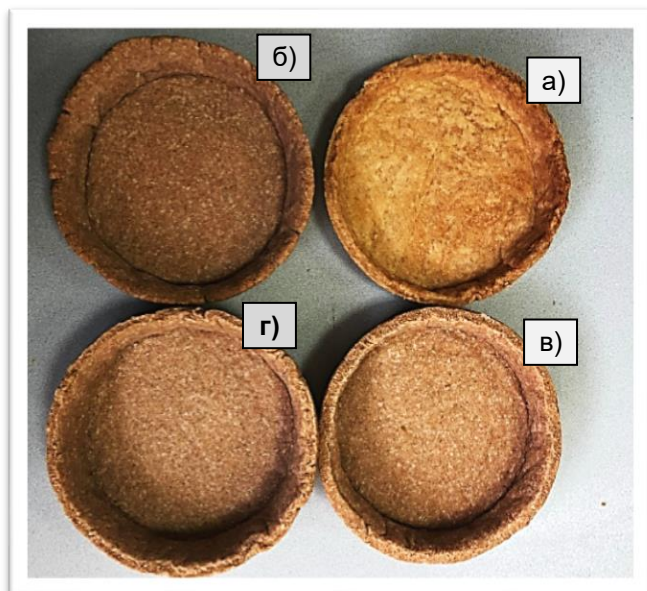


Рис. 2. Зразки їстівного посуду: а) контроль; б) зразок 1; в) зразок 2; г) зразок 3

Важливим показником органолептичної оцінки є вимірювання здатності утримання вологи при температурі 8—14 °С та 65—85 °С впродовж 25 хв. Ці температурні діапазони та тривалість проведеного дослідження корелюють з тривалістю реалізації та споживання пюреподібних супів у закладах ресторанного господарства. Розрахована площа багатокутників якості (рис. 1) підтверджує, що площа профілограми якості зразка 2 на 40,7% є більшою за контроль на 10,3 та 6,3% відповідно за цей показник для зразків 1 та 3. Це підтверджує об'єктивність вибору зразка 2 як оптимального для реалізації пюреподібних холодних і гарячих супів для споживання у закладах ресторанного господарства. Технологічна схема виготовлення нового продукту наведена на рис. 3.

У ході визначення масової частки сухих речовин (табл. 1) встановлено, що зразки з додаванням злакової суміші мали вдвічі вищий вміст сухих речовин порівняно з контролем, що вказує на кращу водоутримувальну здатність.

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники якості готових виробів

Показники	Контроль	Зразок їстівного посуду з вмістом суміші 50/50
Масова частка вологи, %	5,6±0,1	9,8±0,1
Лужність, град	1,2	—
Тигрована кислотність, град	—	7,1±0,1
Вміст зв'язаної води, %	1,4±0,1	2,5±0,1
Крихкуватість, %	13,3±0,1	3,6±0,1
Гідраційна здатність, %	142,0±0,1	169,6±0,1

харчові волокна льону, пшеничних висівок і крохмаль зеленої гречки. Пектинові речовини та геміцелюлози, наявні у складі висівок, здатні зв'язувати значні об'єми води, створюючи драглеутворюючі структури. Льон, завдяки високому вмісту слизистих полісахаридів (до 10% від маси), активно сприяє поглинанню вологи й формуванню в'язкої матриці, що зменшує втрату рідини з продукту. Зелена гречка підсилює водоутримувальну здатність виробів за рахунок набухання і стабілізації структури тіста. Сумарно це забезпечує не лише термостійкість і цілісність готового виробу при поданні гарячих страв, а й збільшує строк збереження форми посуду за умов тривалого контакту з вологим харчовим середовищем.

Висновки. Результати проведених досліджень підтвердили ефективність використання подрібненої зернової суміші (льон, зелена гречка, пшеничні висівки) як функціонального інгредієнта для удосконалення рецептури їстівного посуду на основі пісочного тіста. Оптимальне співвідношення компонентів забезпечило баланс між технологічними, органолептичними та фізико-хімічними характеристиками.

Оцінка площі багатокутників якості засвідчила, що зразок № 2 (50/50) має перевагу над іншими за комплексом показників. Площа багатокутника для цього зразка перевищувала контрольний на 40,7%, зразок № 1 (60/40) — на 10,3%, а зразок № 3 (40/60) — на 6,3%.

Досягнуто значного зниження крихкості готових виробів (у 3,7 раза), покращення гідратаційної здатності (на 19,4%) та підвищення водоутримувальної здатності, що дозволяє використовувати новий продукт для подавання гарячих пореподібних страв без втрати форми та функціональності. Також встановлено, що нетрадиційна сировина сприяє збагаченню готового продукту харчовими волокнами, біологічно активними речовинами та мікроелементами, що дозволяє позиціонувати його як функціональну складову страви.

Розроблена технологія є перспективною для впровадження в практику закладів ресторанного господарства, зокрема в сегменті fast casual і підприємств, що орієнтуються на концепцію zero-waste. У майбутньому доцільним є вивчення подальших шляхів модифікації рецептури, у тому числі з використанням локальної сировини та натуральних барвників, а також аналіз споживчого сприйняття виробу в умовах реального ресторанного середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андрєєва, С., Гринченко, О. (2022). Сучасні формати закладів ресторанного господарства. *Scientific Collection «InterConf»*, 124. 166—172. <http://elar.khmnmu.edu.ua/jspui/handle/123456789/6242>.
2. Dennehy, D., Kasraian, L., O'Raghallaigh, P., Conboy, K. (2016) Product Market Fit Frameworks for Lean Product Development. *R&D Management Conference "From Science to Society: Innovation and Value Creation"*, 3—6 July 2016, Cambridge, UK.
3. Процюк, К. В., Передрій, М. О. (2022). Ресторанний бізнес в умовах кризи: проблеми та напрямки розвитку. *Економіка та суспільство*, 44.
4. Єврокомісія схвалила заборону одноразового пластикового посуду. *Дзеркало тижня. Україна*. https://dt.ua/WORLD/evrokomisiya-shvalila-zaboronu-odnorazovogo-plastikovogo-posudu-279032_.html.
5. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо харчових продуктів: Закон України від 22.07.2014 № 1602-VII. *Відомості Верховної Ради України*. 2014. № 41—42. Ст. 2024.
6. Про обмеження обігу пластикових пакетів на території України: Закон України від 01.06.2021 № 1489-IX. *Відомості Верховної Ради України*. 2021. № 31. Ст. 252.
7. Роботько, А. Ю., Чорна, А. І., Шульга, О. С. (2019). Їстівний посуд — піклування про екологічне майбутнє планети. *Наукові праці НУХТ*, 25(2), 225—233.
8. Roy, T. R., Morya, M. (2022). Edible cutlery: An eco-friendly replacement for plastic cutlery. *Journal of Applied and Natural Science*, 14(3), 835—843. <https://doi.org/10.31018/jans.v14i3.3627>.

9. Abhirami, V. G. (2025). Edible Cutlery: A Passing Trend or a Sustainable Innovation. *International Journal of Science, Engineering and Technology*, 13(1).
10. Mukherjee, K., Raju, A. (2023). Edible cutlery: A prototype to combat malnutrition and plastic waste management. *Asian Journal of Biological and Life Sciences*, 12(1), 92—102.
11. Namratha, B., Gaonkar, S. L. (2024). Edible Cutlery: A Tenable Solution to the Plastic Menace, Bolstering the Global Economy. In: *Remediation of Plastic and Microplastic Waste*. CRC Press, 109—121.
12. Cui, W., Mazza, G., Biliaderis, C. G. (1994). Chemical structure, molecular size distribution, and rheological properties of flaxseed gum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(8), 1891—1895. <https://doi.org/10.1021/jf00045a009>.
13. Zhu, F. (2016). Buckwheat starch: Structure, properties, and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 49, 121—135. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.007>.
14. Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124(2), 411—421. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>.
15. Дробот, В. І. (2015). *Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів*: навч. посіб. Київ: Кондор-Видавництво.

УДК 664.681

DESIGNING INNOVATIVE ORGANIC FLOUR-BASED CONFECTIONERY PRODUCTS BASED ON LOCAL RAW MATERIALS

O. Kokhan¹, Yu. Kambulova¹, A. Sotska¹, K. Karpovets¹, N. Berezkina²

¹National University of Food Technologies

²Chernihiv Polytechnic National University

Key words:

organic confectionery,
walnut flour,
dogwood,
heat treatment,
forming

Article history:

Received 18.08.2025

Received in revised form

24.08.2025

Accepted 30.08.2025

Corresponding author:

kohanoo@nuft.edu.ua

ABSTRACT

The article presents the results of research on the development of a recipe composition and a method for manufacturing an organic flour confectionery product with a filling, made using organic local raw materials: blanched walnut flour and dogwood berry puree. The possibility of expanding the range of domestic organic sweets is considered due to the proposed technology for manufacturing an organic confectionery product in the form of a donut with a filling, which does not undergo a frying operation, and its heat treatment occurs exclusively by baking, which allows reducing the calorie content of the finished product.

The paper presents the results of the analysis of the technological characteristics of organic flour with reduced fat content (mass fraction of fat 18%), obtained from blanched walnuts. Its rational dosage has been established when replacing wheat flour, which is 55% of the total amount of flour in the recipe composition. To obtain a heat-stable filling for donuts, the use of puree from organic dogwood berries is proposed.

The use of puree from this berry allows you to get a filling with high organoleptic indicators without the use of additional flavouring components and provides a change in the method of introducing the filling into the product, by replacing the injection of the filling into a freshly baked product with the formation of a dough blank immediately with the filling. This method of introducing the filling allows you to increase its amount and ensure its uniform distribution in the central layers of the finished product in the form of a donut. It has been established that the mass fraction of the filling can reach up to 25% of the weight of the finished product.

The proposed solutions allow to obtain a new product with original consumer characteristics and increased nutritional value.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-

ПРОЄКТУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ОРГАНІЧНИХ БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ ЛОКАЛЬНОЇ СИРОВИНИ

О. О. Кохан, канд. техн. наук, ORCID ID: 0000-0003-1820-1436

Ю. В. Камбулова, д-р техн. наук, ORCID ID: 0000-0001-7897-8533

А. М. Соцька, магістр

К. В. Карповець, здобувач

Національний університет харчових технологій, м. Київ

Н. А. Березкина, старший викладач, ORCID ID: 0009-0000-0952-5557

Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів

У статті наведено результати досліджень щодо проєктування органічного борошняного кондитерського виробу у формі донату з начинкою, термообробка якого відбувається за рахунок випікання, на основі використання локальної сировини: борошна з волоського горіха та пюре з ягід кизилу.

Встановлений вплив борошна з волоського горіха на якість н/ф та готових виробів та визначено його раціональне дозування, запропоновано використання пюре з ягід органічного кизилу як основи термостабільної начинки виробу, що дозволяє забезпечити формування тістової заготовки одразу з начинкою. Запропоновані рішення дають змогу отримати новий продукт з оригінальними споживчими характеристиками та підвищеною харчовою цінністю.

Ключові слова: органічні кондитерські вироби, борошно з волоського горіха, кизил, термообробка, формування.

Вступ. На сьогодні здорове харчування стає не лише модною тенденцією, а й усвідомленою потребою для багатьох людей. У світі, де турбота про своє здоров'я, екологію та якість продуктів займає важливе місце, органічні продукти виходять на перший план. Однак серед вітчизняних органічних продуктів ще відчувається дефіцит переробленої, багатокomпонентної продукції. Саме тому доцільність розширення сегменту вітчизняних органічних солодоців є актуальним та пріоритетним завданням.

Збільшення частки прийомів їжі «на ходу» та звичка споживати кавові напої у вуличних закладах призводять до збільшення асортименту кондитерських виробів, споживання яких гармонійно вбудовується в активний життєвий ритм сучасної людини. Все більшої популярності в нашій країні набувають борошняні вироби, що відомі під назвою американські пончики чи донати. Донати стали частиною сучасної культури харчування завдяки своїй універсальності та можливості поєднувати класичні традиції з інноваційними підходами. Однак класичні донати, виготовленні шляхом обсмажування у фритюрі, не відповідають вимогам сучасного споживача, адже вони містять багато калорій, шкідливих продуктів розкладу жирів і штучних добавок.

Саме тому завданням наших досліджень було встановлення можливості удосконалення технології органічних донатів з метою підвищення їх харчової та біологічної цінності та зниження калорійності. Перспективним і нетиповим напрямком удосконалення технології донатів є включення до рецептури виробу борошна з волоського горіха, що дозволить покращити харчову цінність виробу, а також використання кизилового пюре для приготування начинки з високими споживчими характеристиками без застосування додатково внесених смакових компонентів і барвників, окрім того,

передбачається заміна технології обсмажування виробів в жирі на їх термообробку шляхом випікання.

Огляд останніх досліджень і публікацій. На сьогодні питання виробництва органічної продукції в Україні є одним із найпріоритетніших в аграрному секторі. Попри виклики, що постали перед виробниками, Україна посідає значне місце в ланці найбільших експортерів Європи та продовжує рухатися до нових здобутків на світовій аграрній арені [1, 2].

Особливо корисними є органічні продукти для дітей, оскільки їхній організм більш вразливий до дії залишків нітратів, пестицидів, важких металів та антибіотиків у продуктах харчування [3, 4], тому світовий ринок органічної продукції розвивається швидкими темпами.

Останніми роками спостерігається тенденція активного наповнення внутрішнього ринку органічною продукцією за рахунок налагодження власної переробки органічної сировини. Кількість вітчизняних виробників, які займаються виготовленням органічної кондитерської продукції, є досить низькою, в той час як у світі органічні оператори пропонують ширший асортимент органічної лінійки: органічні льодяники на паличці, шоколад, печиво, вафлі, крекери, снеки, желейні цукерки, бісквітні вироби тощо [5].

Виробництво органічних кондитерських виробів є складним і багатоетапним процесом, який потребує спеціальних технологій і дотримання суворих стандартів [6]. Виробничі процеси виключають використання синтетичних барвників, консервантів і ароматизаторів, що ускладнює зберігання продукції та вимагає інноваційних підходів до пакування та технології виробництва.

У світі органічні борошняні вироби стали важливою складовою харчової промисловості. У Європі сектор органічних продуктів є одним із найбільш розвинених у світі. Американські споживачі віддають перевагу не тільки традиційній випічці, але й інноваційним продуктам, як-от органічні донати з високим вмістом клітковини чи випічка без цукру. У Канаді уряд активно підтримує фермерів, які вирощують органічну пшеницю, за допомогою субсидій і грантів. Особливо популярними є органічні крекери, печиво та хлібобулочні вироби [7].

Усе більшу увагу споживачів у нашій країні привертають борошняні вироби, відомі як американські пончики або донати. Донати користуються великою популярністю завдяки різноманітності смаків, а також яскравому оформленню, що змушує мимоволі звернути увагу та зробити вибір покупців саме у бік цього кондитерського виробу. Як і пончики, традиційні донати обсмажуються у фритюрі, набуваючи апетитного золотистого кольору. Однак така обробка виробів призводить до їх значної калорійності, що може зменшити їх попит серед людей, які слідкують за своїм раціоном, тому зараз все більше виробників переходять на виробництво цих виробів шляхом випікання з метою зниження калорійності [8, 9]. Зважаючи на зростаючу популярність цього виробу, особливо у молоді, донат було його обрано як предмет досліджень.

Особливу увагу в органічних виробах заслуговують інгредієнти, які додають виробу унікальних смакових і харчових характеристик. Одним із таких компонентів є кизил — надзвичайно корисна ягода, яка вже багато років відома своїми цілющими властивостями. Кизил багатий на вітаміни С, РР, антиоксиданти, пектини та мікроелементи, які допомагають зміцнювати імунітет, покращувати роботу серця, нормалізувати травлення та захищати організм від дії вільних радикалів. Його кисло-солодкий смак і насичений червоний колір додають виробам неповторного вигляду та

смаку [10]. Вибір кизилу для приготування на його основі начинки обумовлений досить високим вмістом у пюре з його ягід пектинових речовин і харчових волокон, що дозволить забезпечити начинці термостабільні властивості та стане передумовою формування тістових заготовок одразу з начинкою. Цей спосіб замінить широко застосовану нині інжекцію начинки у шойно випечену заготовку і дозволить збільшити відсоток начинки у складі виробу та забезпечити її рівномірне розподілення в ньому.

Нетрадиційним інгредієнтом, який значно покращує харчову цінність та органолептичні властивості виробу, є борошно з волоського горіха, вирощеного з дотриманням принципів органічного агровиробництва. Це цінний продукт, багатий на рослинний білок, корисні жири, вітаміни групи В, РР, йод, залізо, тощо [11]. Борошно з волоського горіха надає випічці ніжного горіхового аромату та м'якості, а також підвищує її харчову цінність завдяки високому вмісту поліненасичених жирних кислот. Особливістю такого борошна є його здатність збалансовувати смак і текстуру солодоців, роблячи їх ніжнішими та насиченішими. До того ж волоський горіх має антиоксидантні властивості, що додає продукту корисності. Використання цього інгредієнта в рецептурі органічних донатів дозволяє створити виріб, який ідеально поєднує смак, користь і екологічну чистоту [12]. Білку горіха волоського притаманна висока засвоюваність та збалансований амінокислотний склад, що забезпечує його високу біологічну цінність. Також волоський горіх характеризується високим вмістом фітостеролів, що позитивно впливають на діяльність організму, водночас знижує рівень шкідливого холестерину в крові, підвищує імунітет, проявляє протиракову дію, нормалізує рівень цукру. Незважаючи на певну складність у переробці ядра волоського горіха, інтерес до нього щороку зростає. В Україні на ринку інгредієнтів вже є зразки борошна з волоського горіха, вирощеного та переробленого з дотриманням норм органічного виробництва, що робить цю сировину перспективною та доступною для виробництва органічних кондитерських виробів.

Мета досліджень полягає в удосконаленні технології органічних донатів з начинкою, що не потребують обсмаження, з використанням в їх рецептурному складі борошна з волоського горіха та пюре з ягід кизилу задля підвищення харчової цінності виробу, покращення його споживчих характеристик і розширення асортименту вітчизняної переробленої органічної продукції.

Матеріали і методи. Проводилися дослідження зразків органічних донатів з різною часткою борошна з волоського горіха на заміну пшеничного та з начинкою на основі пюре з ягід кизилу. Зразки були виготовлені в умовах лабораторії, їх випікання здійснювалося в електричній печі Sveba-Dahlen (Швеція) в межах температурного діапазону 170—190 °С, тривалість термообробки 8—10 хв.

Відбір проб для фізико-хімічних досліджень зразків проводили згідно з ДСТУ 4619:2006 [13]. Визначення органолептичних і фізико-хімічних показників напівфабрикатів та готової продукції проводили загальноприйнятими в кондитерській галузі методами [14]. Напівфабрикати і готову продукцію досліджували органолептично за ДСТУ 4683:2006 [15], масову частку вологи у сировині, напівфабрикатах і готових виробів визначали прискореним методом за допомогою сушильної шафи СЕШ-1 та рефрактометричним методом [16], білизну борошна визначали на білизномірі БЛПК-РЗ згідно з ДСТУ ГОСТ 26361:2019 [17], крупність досліджуваних видів борошна визначали ситовим методом [18].

Визначення структурно-механічних показників готових виробів проводили на структурометрі СТ-1. Для визначення значень деформацій застосовували режим №1

приладу, для визначення граничної напруги зсуву зразків готових виробів використовувався режим №6, насадка — конус з кутом 45° і такими параметрами: швидкість руху столика вгору $V = 65$ мм/хв; глибина занурення інструменту $H = 7$ мм; тривалість занурення конуса $\tau = 10$ с [14].

Результати досліджень. Для досягнення поставленої мети було розроблено план експериментальних досліджень, що включав кілька етапів, пов'язаних з дослідженнями якості основної сировини, застосованої в рецептурній композиції виробів; встановленні раціональних технологічних параметрів їх виготовлення та проведенні оцінки якості розроблених органічних борошняних виробів.

На першому етапі виконання експериментальної частини роботи було проведено комплекс досліджень з визначення технологічних властивостей частково знежиреного борошна (масова частка жиру 18%) з органічного волоського горіха, що попередньо зазнав операції бланшування (ТМ «NUTS'N'GARDEN»), з метою прогнозування його поведінки під час часткової заміни цим борошном органічного пшеничного борошна в/с (ТМ «Ahimsa») в рецептурі виробів. У ході експериментів було визначено масову частку вологи, водопоглинальну здатність досліджуваних зразків борошна, його крупність і білість. Результати експериментів наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Показники якості досліджуваних видів борошна

Вид борошна	Показники			
	масова частка вологи, %	водопоглинальна здатність, %	крупність, залишок на металевому ситі 045, %	білість, ум. од.
Органічне пшеничне борошно в/с	14,0	64,5	4	63,5
Частково знежирене борошно з органічного волоського горіха	4,0	197,0	34	-32,8

Аналіз отриманих результатів показав, що горіхове борошно суттєво відрізняється від пшеничного за своїми технологічними властивостями, що буде впливати на хід технологічного процесу та якість н/ф і готових виробів. Водопоглинальна здатність борошна з волоського горіха в декілька разів перевищує цей показник пшеничного борошна, що варто врахувати на етапі встановлення раціональних параметрів приготування тіста для donatів з частковою заміною пшеничного борошна в/с на горіхове. Крупність горіхового борошна вища за контрольний зразок, що може впливати як на колір, так і на структуру тіста та готових виробів, а за показником білості горіхове борошно має значно темніший колір порівняно з пшеничним, що буде надавати виробам більш інтенсивного забарвлення.

Другий етап досліджень полягав у розробці рецептурної композиції випеченої частини органічного donatu з частковою заміною пшеничного борошна на борошно з волоського горіха. Як рецептурні інгредієнти використовувалася органічна сировина переважно вітчизняного походження: борошно пшеничне в/с, борошно з волоського горіха, масло вершкове, молоко коров'яче пастеризоване, яйця курячі; цукор, глюкозний сироп і ванільний екстракт — це імпортована органічна сировина; хімічний розпушувач і сіль харчова використовувалися в невеликих кількостях (в сумі менше 5%), що дозволяє розроблений виріб віднести до органічних за його складом. На етапі

розробки рецептурної композиції донату було проведено серію експериментів з виготовленню зразків донатів із заміною частини органічного борошна пшеничного на органічне борошно з волоського горіха. Основною метою було встановлення максимально можливої заміни пшеничного борошна на борошно з волоського горіха без погіршення якості готових виробів. Заміна проводилася з урахуванням масової частки сухих речовин різних видів борошна та їх технологічних властивостей. Були виготовлені зразки виробів: контрольний зразок (зразок 1) та з заміною 25% (зразок 2) та 55% (зразок 3) пшеничного борошна на борошно з волоського горіха (рис. 1). Масова частка вологи тіста в досліджуваних зразках була в межах 34—36%. Виготовляли вироби вагою близько 40 г.

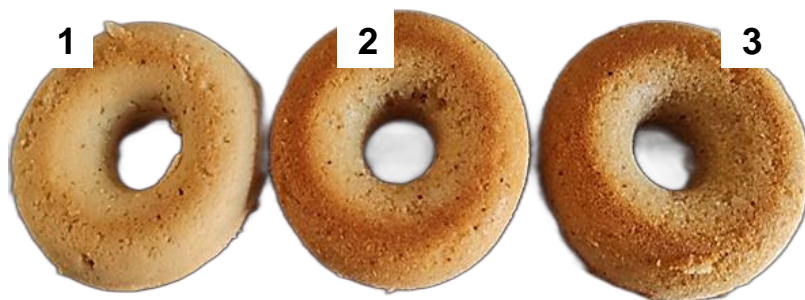


Рис. 1. Зовнішній вигляд зразків донатів з частковою заміною борошна

Провівши аналіз органолептичних показників отриманих зразків, комісією дегустаторів було відзначено покращення їх зовнішнього вигляду та появу приємного горіхового присмаку в зразках з горіховим борошном. Також спостерігалось збільшення інтенсивності забарвлення виробів зі збільшенням частки в їх рецептурній композиції борошна з волоського горіха, що можна пояснити більш темним кольором самого борошна та активним проходженням реакції меланоїдиноутворення в цих зразках під час випікання. Також був визначений питомий об'єм зразків виробу і встановлено зниження цього показника в зразках з борошном волоського горіха: для зразка 1 цей показник становив $175 \text{ см}^3/100 \text{ г}$, для зразка 2 — $170 \text{ см}^3/100 \text{ г}$, для зразка 3 — $165 \text{ см}^3/100 \text{ г}$.

Визначення структурно-механічних показників виготовлених зразків виробу демонструє, що значення величини граничної напруги зсуву в усіх досліджуваних зразках близькі за значеннями (табл. 2), однак фіксується тенденція до збільшення цього показника при збільшенні частки борошна з волоського горіха в складі рецептурної композиції. Також у зразках з внесенням горіхового борошна спостерігалось збільшення пружної деформації, однак це було відзначено дегустаторами навіть як покращення споживчих характеристик виробу.

Таблиця 2. Структурно-механічні характеристики зразків донатів

Зразок	Гранична напруга зсуву, кПа	Відносна пластичність, %	Відносна пружність, %
Зразок 1 (контроль)	915,85	83,40	16,60
Зразок 2 (25% заміна)	919,18	75,75	24,25
Зразок 3 (55 % заміна)	924,60	61,90	38,10

Цей етап експериментальних досліджень продемонстрував перспективу використання борошна з волоського горіха при розробці рецептурної композиції органічного донату, а отримані результати стали передумовою продовжити роботу над удосконаленням рецептури виробу з використанням 55% борошна з волоського горіха на заміну традиційного пшеничного.

Зважаючи на наявність у рецептурі донату борошна з волоського горіха з масовою часткою жиру 18%, було прийнято рішення зменшити кількість вершкового масла в рецептурі виробу на 27% (саме ця кількість жиру компенсується внесенням в рецептуру 55% борошна з волоського горіха) та визначити, чи не буде при цьому погіршуватися якість готового виробу. Аналіз отриманих зразків не продемонстрував погіршення якості донату зі зменшеною кількістю масла, що дало змогу забезпечити зниження кількості цього компонента в виробі, що позитивно вплине на зменшення калорійності та собівартості органічного донату.

Наступний етап експериментальних досліджень був присвячений розробці начинки для донатів на основі пюре з ягід органічного кизилу ТМ «Famberry». Для механізації процесу виробництва цих виробів запропоновано вносити начинку на етапі формування тістової заготовки, тому важливо, щоб начинка мала термостабільні властивості і залишалася у виробі після випікання.

Для стабілізації начинки було виготовлено її зразки на основі пюре з ягід кизилу та цукру білого кристалічного та з додатковим внесенням різної кількості пектину (0,5%, 1,0% та 1,5% до маси пюре). Масова частка сухих речовин в отриманих зразках начинки була в межах 80—82%.

Провівши виготовлення виробів зі зразками отриманих начинок, було відзначено, що начинка на основі пюре з кизилу без додаткового внесення пектину має високі технологічні показники як на етапі формування виробу, так і під час випікання та подальшого зберігання донату. Тому зроблено висновок про недоцільність додаткового внесення пектину до складу начинки, адже кількості власного пектину та харчових волокон в самому пюре з ягід кизилу достатньо для стабілізації начинки. Як і було прогнозовано, колір начинки на основі пюре з ягід кизилу зберігся після випікання, а поєднання кисло-солодкої начинки та випеченої тістової оболонки, що має горіховий присмак, дегустаторами було охарактеризоване як гармонійне та збалансоване.

Важливим технологічним аспектом при виготовленні цього комбінованого виробу було встановлення раціонального співвідношення начинки та тістового напівфабрикату, а також вибір форм, в яких буде проводитись випікання виробу.

Шляхом проведення низки експериментів було встановлено, що раціональна кількість начинки до маси виробу становить 25%, а раціональний цикл дозування тіста такий: 60% тіста на першому етапі дозування, потім дозується порція начинки, а зверху дозується інші 40% тіста. Це дозволить уникнути просочування начинки на поверхню виробу (рис. 2, а) та забезпечить розташування достатньої кількості начинки по центру випеченого виробу (рис. 2, б).

Щодо вибору форм, то було проведено дослідження з використанням найбільш жививаних зараз у кондитерській галузі металевих форм та форм на основі силікону. Встановлено, що вироби, які зазнавали випікання в металевих формах, потребували меншого часу термообробки на 10—15%, ніж вироби в силіконових формах, що є більш доречним з точки зору інтенсифікації процесу виробництва та зниження ресурсозатратності запропонованої технології і узгоджується з принципами сталого розвитку та принципами органічного виробництва.



Рис. 2. Вигляд донатів з начинкою при відпрацюванні режимів їх формування

У виготовлених зразках визначали показники якості згідно з нормативною документацією на кексові вироби [19]. За органолептичними та фізико-хімічними показниками розроблені зразки органічного донату повністю відповідають нормативній документації.

Розрахунок комплексного показника якості [14], що включав оцінювання органолептичних показників розробленого виробу з урахуванням коефіцієнтів вагомості, дозволив кількісно описати його якість. Значення комплексного показника для розробленого зразка органічного донату становило 0,95, що свідчить про його високу якість та перспективність впровадження розробки для розширення асортименту органічних борошняних кондитерських виробів.

Проведені дослідження стали основою для розробки нормативної документації на органічний донат: розроблені рецептура та технологічна інструкція органічного донату «Кизилова гармонія» з частковою заміною пшеничного борошна на борошно з волоського горіха та застосування начинки на основі пюре з ягід органічного кизилу. Після визначення раціональних параметрів виробництва донату було розроблено принципову технологічну схему його виробництва, що дозволяє реалізовувати технологію на підприємствах різної потужності та ступеня механізації.

Розрахунковим шляхом було визначено харчову та енергетичну цінність розробленого донату. Калорійність виробу становить 340 ккал/100 г, що на 30% нижче класичного донату, який виготовляється шляхом обсмажування. Також покращується харчова цінність виробу, збільшується частка білкових речовин на 20%, знижується кількість насичених жирних кислот і простих вуглеводів. Отримані результати демонструють досягнення нашої мети щодо розширення асортименту органічних борошняних виробів зниженої калорійності та підвищеної харчової цінності на основі вітчизняної органічної сировини. Адже споживання органічних продуктів гарантує відсутність в них ГМО, пестицидів, консервантів і штучних барвників, ароматизаторів, що робить цей продукт ідеальним вибором для людей, які прагнуть дотримуватися принципів здорового та збалансованого харчування.

Висновки. На основі проведених досліджень встановлена перспективність застосування при розробці рецептурної композиції органічного донату борошна з бланшованого та часткового знажиреного ядра волоського горіха та визначено його раціональне дозування в рецептурі, що становить 55% на заміну рецептурної кількості борошна пшеничного вищого сорту. Таке дозування борошна з волоського горіха не буде ускладнювати технологічний процес і сприятиме покращенню споживчих характеристик виробу та підвищенню його харчової цінності. Досліджено можливість

зниження кількості вершкового масла в рецептурній композиції органічного за рахунок введення в його склад борошна з волоського горіха, що містить цінну олію за хімічним складом і фізіологічною дією.

Запропоновано технологію органічного борошняного кондитерського виробу у формі донату, що передбачає формування тістової заготовки одразу з начинкою. Встановлено можливість виготовлення термостабільної начинки для донату на основі кизилового пюре без застосування додаткових стабілізаторів структури. Визначено раціональне співвідношення начинки та тістової частини, що становить 1:3, а також раціональні режими формування тістової заготовки розробленого донату та його термообробки.

Харчова цінність розробленого донату покращується за рахунок збільшення частки білка та зниження кількості насичених жирних кислот і простих вуглеводів, що демонструє перспективність впровадження такого виробу на підприємствах з органічним виробництвом. А це, у свою чергу, дозволить розширити асортимент вітчизняної органічної продукції, виготовленої на основі локальної сировини, що володіє великим функціональним потенціалом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Негода, Ю. М., Гудзь, М. М. (2023). Ринок органічної продукції в Україні. *Економіка і суспільство*, 54. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-34>.
2. Підсумки 2024 року в органічному секторі. Режим доступу: URL: <https://organicinfo.ua/news/results-of-2024/>.
3. Rahman, A., Baharlouei, P., Koh, E. H. Y., Pirvu, D. G., Rehmani, R., Arcos, M., Puri, S. (2024). A Comprehensive Analysis of Organic Food: Evaluating Nutritional Value and Impact on Human Health. *Foods*, 13, 208. <https://doi.org/10.3390/foods13020208>.
4. Переваги органічних продуктів: вплив на здоров'я та довкілля. Режим доступу: URL: https://tovarystvo-kraftu.com/blog/perevahy-orhanichnykh-produktiv-dlia-zdorovia-ta-dovkillia/?srsltid=AfmBOorDQRCCMoTZK9A-IIZDb9VF52z-bESWfpM5BGQ2Q8gj_a1X_fNG.
5. Тренд на органічне в Україні. Режим доступу URL: <https://pravda.com.ua/columns/2024/01/18/708903/>.
6. Що таке органічні продукти. Офіційний веб-сайт Федерації органічного руху України. Режим доступу: URL: <https://organic.com.ua/organichni-produkti/>.
7. Галуцьких, Н. А., Дідорчук, І. Л. (2024). Сучасні тенденції на світовому ринку органічних продуктів. *Бізнес Інформ*, 2, 20—26.
8. Божко, О. С., Кирпиченкова, О. М. (2016). Розробка технології кондитерського виробу підвищеної біологічної цінності: тези доповідей 82-ї Міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», Київ: НУХТ.
9. Ряполова, І., Микулінська, Д. (2021). Досвід застосування нетрадиційної сировини функціонального призначення у борошняних кондитерських виробках. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 1, 36—41. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.1.6>.
10. Чоні, І. В., Рогова, А. Л. (2021). Використання пюре з кизилу в дріжджових виробках: матеріали МНПІК «Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв», Харків: ДБТУ.
11. Волощук, Г., Пашова, Н., Стадник, С., Науменко, О. (2021). Вплив борошна з макухи олійних культур на вміст цукрів у житньому хлібі. *Продовольчі ресурси*, 9(16), 57—68. <https://doi.org/10.31073/foodresources2021-16-06>.
12. Ткаченко, А. С. (2018). Вивчення споживних властивостей кексів, розроблених на основі органічної сировини. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*, 1(85), 135—142.
13. ДСТУ 4619:2006 Вироби кондитерські. Правила приймання, методи відбору та підготовки проб. [Чинний від 2007-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2006.
14. Дорохович, А. М., Ковбаса, В. М. (2015). *Технологія та лабораторний практикум кондитерських виробів і харчових концентратів*: навчальний посібник. Київ: Інкос.

15. ДСТУ 4683:2006 Вироби кондитерські. Методи визначення органолептичних показників якості, розмірів, маси нетто і складових частин. [Чинний від 2007-10-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2006.

16. ДСТУ 4910:2008 Вироби кондитерські. Методи визначення масових часток вологи та сухих речовин. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2008.

17. ДСТУ ГОСТ 26361:2019 Борошно. Метод визначення білизни (ГОСТ 26361-2013, IDT). [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.

18. Дробот, В. І. (2015). *Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів*: навчальний посібник. Київ: Кондор-Видавництво, 2015.

19. ДСТУ 4505:2005 Кекси. Загальні технічні умови. [Чинний від 01.10.2006]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005.

УДК 637.146.344

SUBSTITUTION OF THE FORMULATION OF PROBIOTIC YOGURT

O. Sychova, M. Zavhorodnii, G. Polishchuk*National University of Food Technologies***Key words:**

yogurt,
probiotics,
prebiotics,
inulin,
mango

Article history:

Received 12.08.2025

Received in revised form
15.08.2025

Accepted 17.08.2025

Corresponding author:

milknuft@i.ua

ABSTRACT

The article analyzes scientific and technical information related to the features of the use of probiotics, prebiotics and functional and technological raw materials of plant origin in yogurt in order to provide the finished product with additional beneficial properties. The most accessible and technologically effective prebiotic was selected — chicory inulin. The positive effect of inulin on the water holding capacity (WHC), viscosity and organoleptic characteristics of yogurt, including during storage was confirmed. It was proven that inulin practically does not affect the rate and degree of lactic acid fermentation during the first 6 hours of fermentation of milk mixtures, but during yogurt storage from 7 to 14 days this polysaccharide exhibits significant prebiotic activity. The microstructure of the protein gel of probiotic yogurt with inulin is denser compared to the control sample without inulin. This occurs due to the interaction of inulin with milk proteins, which contributes to the formation of small cells in the protein gel matrix, which effectively retain moisture and improve the consistency of the finished product. According to the complex of organoleptic indicators probiotic yogurt with 2% inulin showed the highest level of quality. Additionally the yogurt contains 10% mango pulp puree as a multifunctional fruit filling, which plays the role of a sweetener, stabilizer, acidity regulator, flavoring ingredient due to the content of mono- and disaccharides, dietary fiber and organic acids. A new type of probiotic yogurt with a balanced composition will be in high demand among consumers of healthy food products.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-7

ОБГРУНТУВАННЯ РЕЦЕПТУРНОГО СКЛАДУ ПРОБІОТИЧНОГО ЙОГУРТУ

О. Сичова, магістрант, ORCID ID: 0009-0000-8195-5922

М. Завгородній, магістрант,

Г. Поліщук, д-р техн. наук, ORCID ID: 0000-0003-3013-3245

Національний університет харчових технологій

У статті науково обґрунтовано рецептурний склад нового виду пробіотичного йогурту. Підтверджено позитивний вплив інуліну як пребіотика на комплекс показників якості йогурту, у тому числі впродовж зберігання. Встановлено, що м'ясова частка інуліну 2% у складі йогурту забезпечує найвищий рівень якості готового продукту. Додатково до складу йогурту передбачене уведення 10% пюре з м'якоти манго як поліфункціонального наповнювача, який відіграє роль підсолоджувача, стабілізатора, регулятора кислотності, смако-ароматичного інгредієнта за вмісту моно- і дисахаридів, харчових волокон, вітамінів та органічних кислот.

Ключові слова: йогурт, пробіотики, пребіотики, інулін, манго.

Вступ. Йогурт є одним із найпопулярніших у світі ферментованих молочних напоїв, технологія якого постійно удосконалюється [1]. Асортиментний ряд йогурту стрімко розширюється за рахунок сполучення у його складі пробіотиків, пребіотиків і функціонально-технологічної сировини рослинного походження з метою формування додаткових корисних властивостей [2]. Відповідно до ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови», пробіотичний йогурт одержують ферментацією нормалізованих молочних сумішей заквасками, що містять не тільки класичні молочнокислі бактерії *Lactobacillus bulgaricus* і *Streptococcus thermophilus*, але й біфідобактерії *Bifidobacterium* у кількості, не менше ніж 10^6 КУО в 1 см^3 (біфідойогурт) або бактерії ацидофільної палички *L. Acidophilus* у кількості не менше ніж 10^7 КУО в 1 см^3 (біойогурт). Останнім часом виробники заквасок пропонують бактеріальні препарати для виробництва йогуртів, які містять комплекс пробіотиків усіх зазначених вище видів, що ускладнює віднесення готового продукту до конкретного виду пробіотичного продукту. У той же час технологічна активність заквасок комплексного складу не досліджена у достатній мірі, у тому числі в присутності пребіотиків і натуральних інгредієнтів і наповнювачів, що окреслює завдання даного дослідження.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Корисний вплив на здоров'я ферментованих харчових продуктів можна розділити на харчову та фізіологічну функції [3]. Харчовий ефект пов'язаний із забезпеченням організму людини достатньою кількістю поживних речовин, тоді як фізіологічна функція стосується профілактичних і терапевтичних переваг [4]. Функціональні продукти, у тому числі пробіотичний йогурт, наразі є частиною надзвичайно затребуваної ринкової ніші, яка продовжує розширюватися за рахунок використання у складі ферментованого напою натуральних інгредієнтів [5]. Передусім функціональні властивості йогурту залежать від його хімічного складу, видового складу та активності закваски, застосованих пребіотиків і наповнювачів [1]. Нині науковці глибоко вивчають синергізм між пробіотиками і пребіотиками у виробництві функціональних йогуртів, що є основою для розроблення нових рецептур [6–8].

Серед пребіотиків у складі ферментованих молочних напоїв саме інулін заслуговує на особливу увагу, який додатково має низку технологічних переваг, зокрема може імітувати наявність жиру в нежирних харчових продуктах або продуктах зі

зниженим вмістом жиру, а також підвищувати вологоутримувальну здатність молочно-білкових згустків. Вміст інуліну як розчинної клітковини у складі харчових продуктів у кількості 3 г на 100 г продукту дозволяє маркувати продукт як такий, що має підвищену харчову цінність, а в разі забезпечення дози інуліну 12 г на день продукт є корисним для здоров'я [9—10].

Молекулярна структура інуліну складається з лінійних ланцюгів фруктозних одиниць, з'єднаних β -2,1-зв'язками. Цей полісахарид не гідролізується кишковими ферментами, але метаболізується кишковою мікробіотою, що зумовлює його пребіотичні властивості [11]. Інулін взаємодіє з молочними білками через нековалентні зв'язки, які, у свою чергу, зміцнюють зв'язки між міцелами казеїну в матриці білкового гелю та покращують консистенцію йогурту. Інулін також активує продукування молочнокислими бактеріями екзополісахаридів — гідроколоїдів, які структурують молочно-білкові згустки і підвищують їхню вологоутримувальну здатність. Інулін також позитивно впливає на сенсорні та реологічні властивості знежирених молочних продуктів, таких як морозиво [12, 13], молочні напої [14], молочні десерти на основі крохмалю [15], свіжі сири [16].

Синергетичний ефект, який виявляє інулін у складі пробіотичного йогурту, досліджено Содор та ін. [17]. Підтверджено, що інулін позитивно впливає на властивості та сенсорні якості йогурту. Зокрема, йогурт з інуліном демонструє вищий рівень рН та нижчу титровану кислотність, порівняно з контрольним зразком без інуліну впродовж зберігання, що свідчить про підвищення стабільності інуліновмісного продукту в часі. Однак встановлений ефект стосується лише йогурту зі сталим вмістом інуліну (1,5%), що не в повній мірі доводить його потенційну технологічну ефективність і потребує додаткових досліджень. Інші дослідники встановили вплив інуліну на швидкість і глибину ферментації знежирених молочних сумішей [18]. Також є інформація, що інулін у кількості 3,2% активує молочнокислі бактерії, що суттєво скорочує час досягнення активної кислотності не вище 4,8 од. рН [19]. Польські вчені [20] дослідили вплив інуліну за його вмісту від 3 до 15% на фізико-хімічні властивості йогурту і встановили, що збільшення дози цього полісахариду незначно підвищує значення активної кислотності. Індійські вчені [21] не виявили суттєвого впливу інуліну в кількості 1...3% на кислотність свіжовиготовленого йогурту. Таким чином, слід відзначити відсутність чіткої та однозначної інформації щодо впливу інуліну на кислотність йогурту відразу після виготовлення і впродовж зберігання, що потребує уточнення.

Для покращення органолептичних показників йогурту до його складу, зазвичай, додають натуральні наповнювачі, які збагачують напій корисними сполуками — вуглеводами, у тому числі харчовими волокнами, органічними кислотами, пігментами, комплексами вітамінів, мінералів. Українські вчені розробили чисельні рецептури йогурту, зокрема з банановим пюре [22], сублімованим полуничним порошком [23], сиропом і порошком з кліторії трійчастої [24]. У той же час розробниками не вказано, за рахунок чого в йогурті забезпечується нормативний вміст сухого знежиреного молочного залишку (не менше 9,5%), а в разі застосування полуничного порошку відсутня інформація не лише щодо критеріїв оптимізації, але й відсутні рекомендації щодо оптимального вмісту обраного наповнювача.

Серед чисельних натуральних наповнювачів для йогурту особливу увагу привертає пюре з манго. Стиглі плоди манго в середньому містять близько 15...17% цукрів — глюкози (біля 2,0%), фруктози (~4,7%), сахарози (~7,0%) та інших вуглеводів, таких як крохмаль і пектини (до 1,6...2,6%). Також м'якоть манго містить білки

(0,5%), ліпіди (0,75...1,7%), органічні кислоти (0,13...0,17%), макро- та мікроелементи, вітаміни, поліфеноли. Різні сорти манго різного ступеня зрілості можуть суттєво варіювати за хімічним складом, передусім за вмістом вуглеводів [25]. Перетерта м'якоть манго є натуральним підсолоджувачем та смако-ароматичним наповнювачем для кисломолочних напоїв, що було доведено бразильськими вченими [26], які розробили оригінальні рецептури йогурту по типу skyr з м'якоттю манго, фосфорно-окислювальними маслами та натуральними підсолоджувачами — сахарозою, стевією, тауматином і сумішшю стевії/тауматину. Масову частку інгредієнтів (сахарози — 8,8%, пюре з манго — 13,6%) було визначено за результатами органолептичної оцінки зразків йогурту з варійованим хімічним складом. Недоліком вказаної розробки є те, що за доволі високого вмісту моно- і дисахаридів у складі пюре з манго в йогурт додатково вносять сахарозу, що не відповідає сучасним вимогам щодо зниження глікемічного індексу та, відповідно, рівня солодкості продуктів десертного призначення [27].

Американські вчені [28] оптимізували рецептурний склад йогурту з цукром, інуліном та м'якоттю манго, але лише за показниками антиоксидантної активності складових. Оптимальний вміст рецептурних компонентів, який забезпечив максимальну антиоксидантну активність: цукор — 6%, м'якоть манго — 6,56%, інулін — 1%. В оптимізованому продукті також було визначено загальний вміст поліфенолів і флавоноїдів та досліджено його протеолітичну й інгібіторну активність. Однак розроблений продукт містить цукор, а дані щодо його органолептичних та фізико-хімічних показників, у тому числі впродовж зберігання, відсутні.

Отже, обраний напрям наукового дослідження є вельми актуальним, що підтверджує наявність розроблених рецептур йогурту з пробіотиками, пребіотиками і натуральними поліфункціональними інгредієнтами. У той же час, існуючі рецептури пробіотичного йогурту не в повній мірі задовольняють сучасних споживачів щодо мінімізації або відсутності вмісту сахарози. Не досліджено технологічну ефективність заквашувальних препаратів комплексного складу, не вивчено у достатній мірі комплекс показників якості йогурту без цукру з пробіотиками, пребіотиками і натуральними поліфункціональними наповнювачами, у тому числі впродовж гарантованого строку зберігання, що визначає коло інтересів пропонованого дослідження у межах сформульованої нижче мети.

Мета досліджень: науково обґрунтувати рецептурний склад пробіотичного йогурту з інуліном та пюре манго.

Матеріали і методи. Для проведення дослідження було використано таку сировину і матеріали:

- молоко питне коров'яче пастеризоване, вироблене згідно з ДСТУ 2661:2010 «Молоко коров'яче питне. Загальні технічні умови». Хімічний склад молока питного, %: жиру — 2,5, білка — 2,8, вуглеводів — 4,7;

- молоко сухе знежирене, вироблене відповідно до ДСТУ 4273:2015 «Молоко та вершки сухі. Загальні технічні умови». Хімічний склад молока сухого знежиреного, %: вологи — не більше 4, жиру — не більше 1,5, білка в СЗМЗ — не менше 34;

- закваску для йогурту ТМ «VIVO», яка містить комплекс пробіотичних культур бактерій: *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus rhamnosus*;

- інулін з цикорію від ТМ «Здорово». Містить 90% вуглеводів, енергетична цінність — 156 ккал (652,72 кДж);

- пюре, виготовлене зі свіжих плодів манго, поживна цінність яких становить на 100 г наповнювача 17 г вуглеводів, 0,5 г білків та 0,27 г жирів. Енергетична цінність — 70 ккал (270 кДж).

На першому етапі вивчали вплив інуліну на органолептичні та фізико-хімічні показники йогурту питного в діапазоні вмісту цього полісахариду від 1 до 3%. Було виготовлено такі зразки:

- контроль 1 (йогурт без інуліну);
- зразок 1 (1% інуліну);
- зразок 2 (2% інуліну);
- зразок 3 (3% інуліну).

Зразки молока з інуліном у скляному термостійкому посуді об'ємом по 200 см³ пастеризували на водяній бані при температурі 80...85 °С без витримки, що знижувало ризик вторинного мікробного обміненія та сприяло повному розчиненню інуліну. Пастеризовані зразки молока охолоджували до 38...40 °С і в стерильних умовах вносили в них однакову, рекомендовану виробниками, кількість відновленої закваски. Зразки перемішували, склянки закривали кришками і розміщували їх у термостаті марки ТС-80М-2 при температурі 40±2 °С до досягнення активної кислотності не вище 4,8 од. рН і титрованої кислотності не нижче 80 °Т, відповідно до вимог ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні вимоги». Готовий продукт зберігали при температурі 4±2 °С впродовж 14 діб. Для дослідження динаміки зміни комплексу показників якості зразків йогурту визначали їх на 1, 7 і 14-ту добу зберігання.

На другому етапі експерименту на прикладі зразка з раціональним вмістом інуліну вивчали вплив наповнювача — пюре манго в діапазоні вмісту від 5 до 15% на органолептичні та фізико-хімічні показники йогурту питного. З цією метою виготовляли такі зразки:

- контроль 2 (2% інуліну);
- зразок 4 (5% пюре манго+инулін);
- зразок 5 (10% пюре манго+инулін);
- зразок 6 (15% пюре манго+инулін).

Ферментацію зразків проводили подібно до першого етапу. З метою дотримання балансу у зразках 4—6 за вмістом сухого знежиреного молочного залишку, що має бути не меншим 9,5%, суміші нормалізувати сухим знежиреним молоком з подальшим фільтруванням і пастеризацією.

Пюре манго готували таким чином: свіжу м'якоть манго очищували від кісточки, нарізали шматочками, бланшували до м'якої консистенції. Гаряче манго перетирали заглибним блендером марки Braun MultiQuick 5 впродовж 3 хв до однорідної консистенції, охолоджували до температури 6±2 °С і зберігали до застосування.

Серію експерименту було проведено із застосуванням методів, описаних нижче. Так, відбір і підготовку проб йогуртів здійснювали за методиками, наведеними в ДСТУ 4834:2007 «Молоко та молочні продукти. Правила приймання, відбирання та готування проб до контролювання».

Температуру молока та йогуртів визначали згідно з ДСТУ 6066:2008 «Молоко та молочні продукти. Методики визначання температури і маси нетто» спиртовим термометром (0...100 °С). За цією ж методикою визначали масу сировини та наповнювачів, користуючись електронними вагами AXIS AD200 третього класу точності.

Активну кислотність (рН) визначали потенціометричним методом відповідно до стандарту ДСТУ 8550:2015 «Молоко та молочні продукти. Вимірювання рН потенціометричним методом». Користувались автоматичним рН-метром марки Sartorius.

Титровану кислотність ($^{\circ}\text{T}$) визначали загальновідомим титрометричним методом. Умовну в'язкість визначали за часом витікання (у секундах) ретельно перемішаного згустку йогурту з піпетки об'ємом 25 см^3 при температурі $20\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ступінь синерезису йогурту визначали методом центрифужних пробірок. Зразки йогурту поміщали в пробірки з поділками об'ємом 10 см^3 , центрифугували протягом 12 хв при обертах центрифуги 1000 об/хв. Визначали об'єм (см^3) прозорої сироватки, що відділилась внаслідок центрифугування.

Масову частку вологи визначали методом висушування до постійної маси (арбітражним методом) згідно з ДСТУ 8552:2015 «Молоко та молочні продукти. Методи визначання вологи та сухої речовини».

Масову частку сухих речовин розраховували за формулою:

$$CP = 100\% - W.$$

Мікроструктуру йогурту вивчали за допомогою світлового мікроскопа Micromed XS-2610 (Китай) при збільшенні 150x (об'єктив — 10x та окуляр — 15x).

Органолептичний аналіз зразків йогурту проводили відповідно до ДСТУ ISO 11035:2005 «Дослідження сенсорне. Ідентифікація та вибирання дескрипторів для створення сенсорного спектра за багатобічного підходу» (ISO 11035:1994, IDT) і до ДСТУ ISO 11037:2014 «Дослідження сенсорне. Настанови щодо оцінки кольору продуктів» (ISO 11037:2011, IDT).

Органолептичні показники йогурту визначали за 5-бальною шкалою для п'яти основних показників: консистенції, кольору, смаку, запаху (аромату) та загального сприйняття при температурі продукту $10\text{...}12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Діапазон варіювання балів складав від 1 до 5 залежно від інтенсивності прояву кожної з органолептичних характеристик. За одержаними результатами будували профілограми. Після чого перераховували бали за кожним показником з урахуванням коефіцієнтів вагомості, які приймали такими: консистенція — 0,3; смак — 0,2; запах (аромат) — 0,2; колір — 0,1; загальне сприйняття — 0,2.

За результатами перерахунку у межах 25-бальної системи визначали загальний зважений бал для кожного зразка, а за загальним балом оцінювали рівень якості зразка, приймаючи такий розподіл: 20...25 балів — відмінний; 16...19,9 бала — добрий; 11...15,9 бала — задовільний; менше 11 балів — незадовільний.

Усі вимірювання проводили у двократній повторності за довірчої ймовірності $P\geq 0,95$. Експериментальні дані піддавали математично-статистичному обробленню, яке проводили з використанням програми статистичного оброблення Microsoft Excel 2013.

Результати досліджень. Результати першого етапу дослідження фізико-хімічних показників досліджуваних зразків сумішей і йогурту з варійованим вмістом інуліну, у тому числі впродовж ферментації та зберігання, наведені нижче.

У табл. 1 представлені значення активної кислотності молочних сумішей з варійованим вмістом інуліну впродовж ферментації.

Загальний характер зміни значень активної кислотності для усіх зразків, у тому числі для контрольного зразка без інуліну, майже однаковий за досягнення $\text{pH}\leq 4,8$ на 6 год ферментації. Виявлений ефект збігається з відомою інформацією [20, 21], однак за подовження тривалості ферментації до 10 год спостерігалось зниження значення активної кислотності для контрольного зразка на $0,17\text{...}0,2$ од. рН, порівняно зі зразками 1—3, що також було відзначено іншими вченими [17].

Таблиця 1. Динаміка зміни активної кислотності впродовж ферментації молочних сумішей з інуліном ($P \geq 0,95$, $n=3$)

Тривалість ферментації, год	Контроль 1	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
0	6,62±0,20	6,68±0,15	6,68±0,16	6,72±0,16
2	5,73±0,17	5,82±0,14	5,83±0,19	5,86±0,16
4	5,25±0,20	5,25±0,16	5,32±0,17	5,34±0,13
6	4,70±0,13	4,71±0,14	4,72±0,13	4,74±0,16
8	4,42±0,14	4,53±0,17	4,55±0,12	4,55±0,13
10	4,17±0,11	4,34±0,11	4,38±0,13	4,38±0,12

Окремо слід зазначити, що навіть за перевищення рекомендованої тривалості ферментації від 6 до 10 год значення активної кислотності для всіх зразків йогурту знаходилися в допустимому діапазоні, відповідно до нормативних вимог ДСТУ 4343:2005 (4,0...4,8 од. рН). З'ясовано, що дані, опубліковані різними вченими, не можна вважати суперечливими, оскільки вони можуть стосуватися різних етапів ферментації молочних сумішей з інуліном різного походження заквасками, що містять принципово різні види й штами молочнокислих бактерій і біфідобактерій.

Фізико-хімічні показники зразків йогурту з інуліном впродовж зберігання наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Фізико-хімічні показники зразків йогурту з інуліном ($P \geq 0,95$, $n=3$)

Показник	Контроль 1	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
1 доба				
рН	4,70±0,13	4,71±0,14	4,72±0,13	4,74±0,16
Відділена сироватка, см ³	0,40±0,02	0,35±0,01	0,25±0,01	0,15±0,01
Умовна в'язкість, с	12,5±0,5	12,7±0,4	12,9±0,5	13,0±0,5
7 доба				
рН	4,35±0,13	4,16±0,11	4,16±0,12	4,14±0,14
Відділена сироватка, см ³	0,45±0,02	0,40±0,02	0,35±0,01	0,35±0,01
Умовна в'язкість, с	9,6±0,3	11,9±0,5	12,8±0,4	12,9±0,4
14 доба				
рН	4,15±0,1	4,10±0,13	4,10±0,95	4,05±0,10
Відділена сироватка, см ³	0,60±0,02	0,50±0,01	0,40±0,01	0,40±0,01
Умовна в'язкість, с	8,7±0,3	12,5±0,5	12,7±0,6	13,2±0,5

За даними табл. 2 можна зробити такі висновки: для всіх зразків упродовж зберігання характерне зниження значень активної кислотності, але динаміка цього процесу більш виражена саме в присутності інуліну, особливо за підвищення його вмісту від 1 до 3%. Це пояснюється тим, що інулін лише впродовж зберігання йогурту в повній мірі проявляє пребіотичний вплив на активність і життєво важливі функції молочнокислих бактерій *Lactobacillus* та біфідобактерій *Bifidobacterium* як селективний субстрат, що сприяє їх росту та впливає на їхні метаболічні процеси. На підтвердження цього можна привести результати досліджень Oliveira та ін. [29], які теж виявили пребіотичний ефект інуліну на всі молочнокислі бактерії лише на сьому добу зберігання йогурту.

Синерезис у зразках суттєво знижувався з підвищенням вмісту інуліну, але впродовж зберігання кількість відділеної сироватки несуттєво зростала. Найбільший синерезис виявлено для контрольного зразка. Це підтверджує здатність інуліну взаємодіяти з молочними білками, зміцнювати зв'язки в матриці білкового гелю та підвищувати таким чином вологоутримувальну здатність йогурту. Також, яку же зазна-

чалоя, інулін здатний активувати продукування молочнокислими бактеріями екзополісахаридів, які спроможні додатково утримувати вологу всередині білкових матриць [11], тому зрозумілим є встановлений ефект зниження синерезису в присутності інуліну.

Щодо умовної в'язкості, то цей показник чітко повторює всі залежності, виявлені для синеретичної здатності йогурту. Тобто здатність утримувати вологу прямо пропорційно корелює зі структуруючою здатністю зразків: за зниження об'єму відділеної сироватки спостерігається підвищення умовної в'язкості йогурту.

Цікавим є те, що іранські вчені не виявили суттєвих відмінностей між рН, синерезисом і сенсорною оцінкою всіх варіантів йогурту з 1...2% інуліну після 4 год ферментації, а також на 1, 7 та 14 добу зберігання [30], але слід ще раз підкреслити, що однозначна інформація про характер впливу інуліну на характеристики йогурту відсутня, а розбіжності можна пояснити тим, що дослідження проводилися з бактеріальними препаратами різного складу та інуліном різного походження.

Пребіотична активність кожного виду інуліну є селективною щодо молочнокислих бактерій і біфідобактерій, що є доведеним фактом [31].

За результатами порівняльної оцінки щодо відповідності значень кислотності нормативним вимогам можна зробити висновок про це для всіх зразків йогурту на першу добу зберігання. У той же час, на сьому добу зразки 1 і 2 характеризувалися дещо нижчою активною кислотністю, що можна пояснити активізацією молочнокислих бактерій у присутності інуліну як пребіотика.

Мікроструктуру зразків йогурту з інуліном наведено на рис. 1.

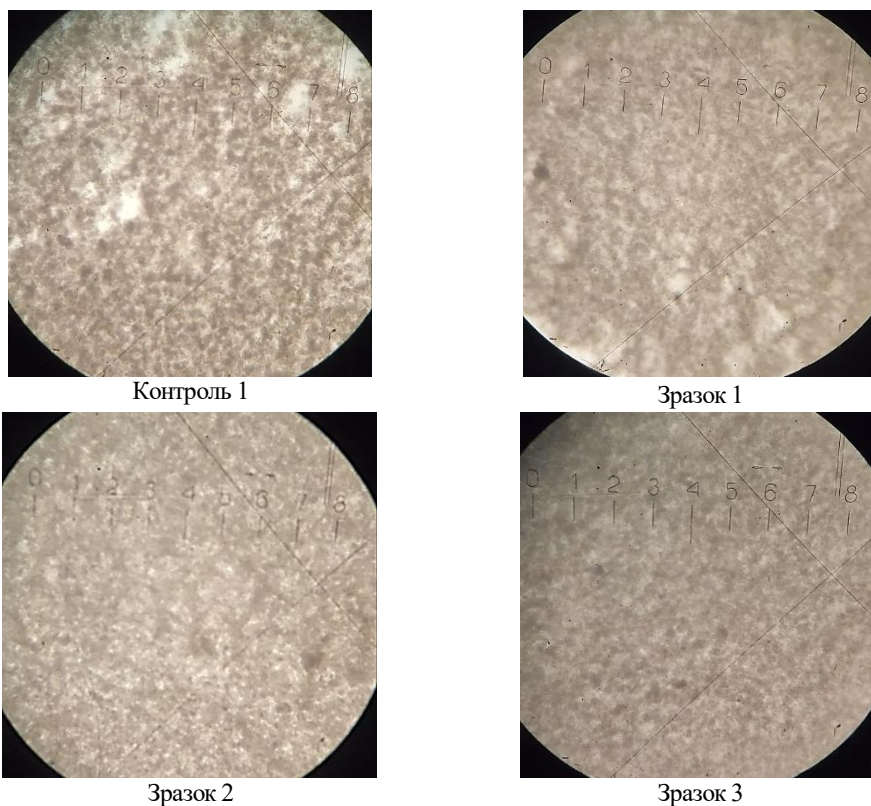


Рис. 1. Мікроструктура зразків йогурту з інуліном

Мікроструктурний аналіз підтвердив суттєву роль макромолекул інуліну у формуванні гелевої структури згустків йогурту. Очевидним є значне зменшення розмірів чарунок гелю, які утримують вологу, що позитивно впливає як на зниження синерезису, так і на підвищення в'язкості йогурту. З підвищенням вмісту інуліну цей ефект стає більш вираженим, що співвідноситься з даними табл. 2.

Результати сенсорної оцінки зразків йогурту з урахуванням коефіцієнтів значимості впродовж зберігання наведено на рис. 2.

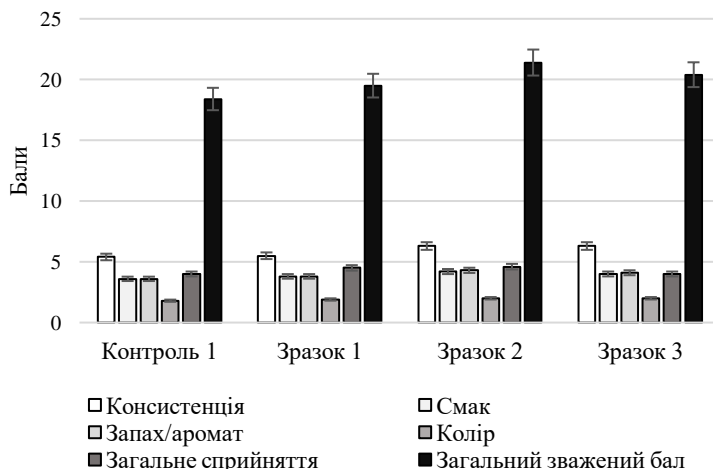


Рис. 2. Дегустаційна оцінка зразків йогурту з інуліном з урахуванням коефіцієнтів значимості на 14-ту добу зберігання

Відповідно до рис. 2, відмінний рівень сенсорних показників на 14-ту добу зберігання виявлено лише для зразків йогурту 2 і 3, які містять 2 і 3% інуліну, але з переважанням бальної оцінки у зразка 2, тому в подальшій роботі саме цей зразок обрано як базовий.

На другому етапі дослідження на основі базового зразка, що містить 2% інуліну, було розроблено оригінальну рецептуру йогурту з пюре манго. До рецептури не передбачено додавати цукор, оскільки пюре манго містить достатню кількість моно-, дисахаридів з достатнім ступенем солодкості. Гомогенізоване, пастеризоване та охолоджене пюре манго додавали у сквашений згусток при обережному перемішуванні впродовж 1 хв.

Фізико-хімічні показники зразків йогурту питного з інуліном і пюре манго наведено у табл. 3.

Таблиця 3. Фізико-хімічні показники йогурту з інуліном і пюре манго ($P \geq 0,95$, $n=3$)

Показник	Контроль 2	Зразок 4	Зразок 5	Зразок 6
1 доба				
pH	4,72±0,13	4,35±0,11	4,33±0,13	4,29±0,12
Відділена сироватка, см ³	0,25±0,01	0,25±0,01	0,28±0,01	0,30±0,01
Умовна в'язкість, с	12,9±0,5	12,5±0,4	12,1±0,4	12,0±0,3
7 доба				
pH	4,16±0,12	4,28±0,11	4,26±0,11	4,19±0,15
Відділена сироватка, см ³	0,35±0,01	0,38±0,01	0,38±0,01	0,40±0,01
Умовна в'язкість, с	12,8±0,5	12,0±0,6	11,7±0,4	11,0±0,4

14 доба				
pH	4,10±0,15	4,11±0,14	4,0±0,11	3,95±0,11
Відділена сироватка, см ³	0,40±0,01	0,42±0,01	0,43±0,01	0,43±0,01
Умовна в'язкість, с	12,7±0,6	11,8±0,4	11,0±0,3	10,6±0,4

Додаткове введення до складу йогурту пюре манго за рахунок привнесених органічних кислот знижує активну кислотність продукту пропорційно до вмісту цього наповнювача. Однак значення активної кислотності зразків йогурту, окрім зразка 6 на 14-ту добу зберігання, знаходяться у межах норми.

Синерезис зразків залишається практично сталим за рахунок дотримання балансу у всіх зразках йогурту за вмістом сухого знежиреного молочного залишку (СЗМЗ) завдяки уведення до складу рецептур сухого знежиреного молока у кількостях, що забезпечують цей показник на рівні не нижче 9,5%, відповідно до ДСТУ 4343:2005. Таке рішення є технологічно грамотним та обов'язковим.

За рахунок коригування хімічного складу всіх зразків за допомогою сухого знежиреного молока також вдалося практично стабілізувати умовну в'язкість усіх зразків йогурту, незважаючи на значне варіювання у їх складі вмісту пюре манго.

Відповідно до рис. 3, на якому наведені результати дегустаційної оцінки зразків йогурту з інуліном і пюре манго на 14-ту добу зберігання з урахуванням коефіцієнтів значимості кожного атрибуту, очевидною є перевага застосування пюре манго у складі йогурту у кількості 10%, що підтверджується найвищим рівнем якості зразка 5. Відмінний рівень якості цього зразка був спостережений впродовж усього терміну зберігання — від 1 до 14 діб.

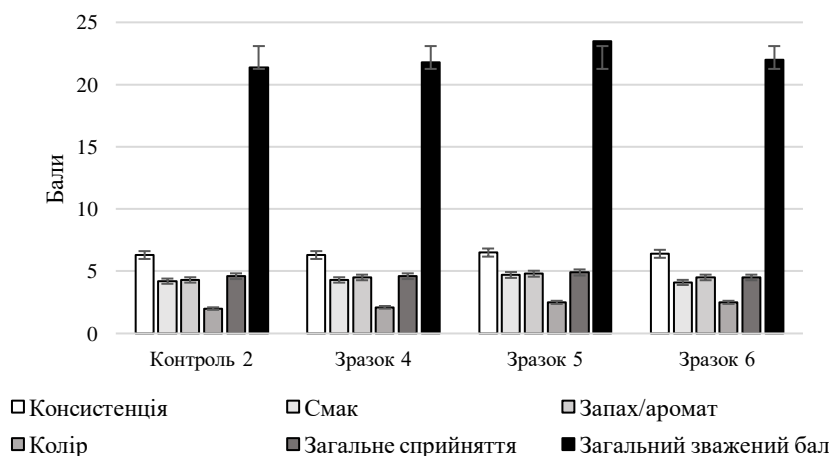


Рис. 3. Дегустаційна оцінка зразків йогурту з інуліном і пюре манго з урахуванням коефіцієнтів значимості на 14-ту добу зберігання

Опис органолептичних показників зразків йогурту з інуліном і пюре манго наведено у табл. 4.

Мікроструктурний аналіз зразків виявив, що внесення до згустка йогурту пюре манго дещо порушує цілісність структури білкової матриці, що наочно видно особливо для зразку 6 з максимальним вмістом пюре манго. Це пояснює незначне зниження умовної в'язкості зразків йогурту за підвищення вмісту в них наповнювача.

Таблиця 4. Органолептична оцінка зразків йогурту з інуліном та пюре манго

Назва показника	Характеристика йогурту			
	контроль 2	зразок 4	зразок 5	зразок 6
Смак	Чистий, кисло-молочний з легкою кислинкою, без сторонніх присмаків	Чистий, кисло-молочний з легкою солодкістю, з присмаком манго, без сторонніх присмаків	Чистий, кисло-молочний з достатньо вираженими солодкістю і вершковістю, з присмаком манго, без сторонніх присмаків	Чистий, кисло-молочний з вираженими солодкістю і присмаком манго, без сторонніх присмаків
Запах	Чистий, кисло-молочний, без сторонніх запахів	Чистий, кисло-молочний, без сторонніх запахів	Чистий, кисло-молочний, вершково-солодкий, з ароматом манго	Чистий, кисло-молочний, вершково-солодкуватий, із дуже вираженим ароматом манго
Консистенція	Однорідна, ніжна, щільна, без газотворення	Однорідна, ніжна, у міру щільна, з газотворенням, з незначними вклученнями пюре манго, що рівномірно розподілені за всім об'ємом продукту	Однорідна, ніжна, достатньо структурована, з незначним газотворенням, з рівномірно розподіленими частками пюре манго	Однорідна, ніжна, дещо текуча, з газотворенням, зі значним вмістом часток пюре манго
Колір	Молочно-білий, однорідний за всією масою	Світло-жовтий, однорідний за всією масою		Жовтий, однорідний за всією масою
Зовнішній вигляд	Порушений згусток з глянуватого поверхнею	Порушений згусток з вкрапленнями шматочків наповнювача		Порушений згусток зі шматочками наповнювача і незначним відділенням сироватки на поверхні

Таким чином, за результатами проведеного комплексного дослідження показників якості досліджуваних зразків упродовж зберігання до подальшого впровадження у виробництво рекомендовано йогурт, що містить 2% інуліну і 10% пюре манго.

Висновки. 1. Впродовж 6 год ферментації інулін у кількості 1—3% майже не впливає на динаміку процесу кислотоутворення, але при зберіганні йогурту до 14 діб інулін у повній мірі виявляє пребіотичний вплив на активність та життєво важливі функції молочнокислих бактерій *Lactobacillus* і біфідобактерій *Bifidobacterium* як селективний субстрат, що сприяє їх росту та впливає на їхні метаболічні процеси.

2. Інулін за рахунок взаємодії з молочними білками та одночасного активування продукування молочнокислими бактеріями екзополісахаридів підвищує вологоутримувальну і структуруючу здатність йогурту. Мікроструктурний аналіз підтвердив суттєву роль макромолекул інуліну у формуванні гелевої структури згустків йогурту. Очевидним є значне зменшення розмірів чарунок гелю, які утримують вологу, що позитивно впливає як на зниження синерезису, так і на підвищення в'язкості йогурту.

3. Відмінний рівень сенсорних показників на 7-у і 14-ту добу зберігання виявлено лише для зразків йогурту 2 і 3, які містять 2 і 3% інуліну, але з переважанням бальної оцінки у зразка 2.

4. Пюре манго у складі йогурту у кількості 10% суттєво підвищує рівень якості продукту впродовж усього строку зберігання продукту, тому до подальшого впровадження у виробництво можна рекомендувати йогурт, що містить 2% інуліну і 10% пюре манго.

5. Перспектива подальших досліджень полягає у уточненні технологічних режимів виробництва розробленого виду пробіотичного йогурту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hadjimbei, E., Botsaris, G., Chrysostomou, S. (2022). Beneficial Effects of Yoghurts and Probiotic Fermented Milks and Their Functional Food Potential. *Foods*, 3, 11(17), 2691. <https://doi.org/10.3390/foods11172691>.
2. Nurul Farhana Fazilah, Arbakariya B. Ariff, Mohd Ezuan Khayat, Leonardo Rios-Solis, Murni Halim (2018). Influence of probiotics, prebiotics, synbiotics and bioactive phytochemicals on the formulation of functional yogurt. *Journal of Functional Foods*, 48, 387—399. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.07.039>.
3. Bell, V., Ferrão, J., Pimentel, L., Pintado, M., Fernandes, T. (2018). One Health, Fermented Foods and Gut Microbiota. *Foods*, 7, 195. <https://doi.org/10.3390/foods7120195>.
4. Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., Gänzle, M., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E. J., Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 94—102. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>.
5. Balthazar, C. F., Pimentel, T. C., Ferrão, L. L., Almada, C. N., Santillo, A., Albenzio, M., Mollakhalili, N., Mortazavian, A. M., Nascimento, J. S., Silva, M. C., Freitas, M. Q., Sant'Ana, A. S., Granato, D., Cruz, A. G. (2027). Sheep Milk: Physicochemical Characteristics and Relevance for Functional Food Development. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6(2), 247—262. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12250>.
6. Halim, M. (2018). Influence of probiotics, prebiotics, synbiotics and bioactive phytochemicals on the formulation of functional yogurt. *Journal of Functional Foods*, 48, 387—399. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.07.039>.
7. Guggisberg, D., Cuthbert-Steven, J., Piccinalli, P., Bütikofer, U., & Eberhard, P. (2009). Rheological, microstructural and sensory characterization of low-fat and whole milk set yoghurt as influenced by inulin addition. *International Dairy Journal*, 19, 107—115. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.07.009>.
8. Sah Baidya, N., Vasiljevic, T., McKechnie, S., & Donkor, O. (2015). Physicochemical, textural and rheological properties of probiotic yogurt fortified with fibre-rich pineapple peel powder during refrigerated storage. *LWT - Food Science and Technology*. 65. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.09.027>.
9. Cieslik, E., & Gebusia, A. (2011). Functional foods with fructans added. *Zywnosc. Nauka. Technologia. Jakosc/Food. Science. Technology. Quality*, 18. <https://doi.org/10.15193/zntj/2011/75/027-037>.
10. Zbikowska, A., Marciniak-Lukasiak, K., Kowalska, M., & Onacik-Gür, S. (2016). Multivariate Study of Inulin Addition on the Quality of Sponge Cakes. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 67. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2016-0026>.
11. Sabater-Molina, M., Larqué, E., Torrella, F., & Zamora, S. (2009). Dietary fructooligosaccharides and potential benefits on health. *Journal of physiology and biochemistry*, 65, 315—28. <https://doi.org/10.1007/BF03180584>.
12. Akin, M. B., Akin, M. S., & Kırmacı, Z. (2007). Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in ice cream. *Food Chemistry*, 104, 93—99. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.11.030>.
13. El-Nagar, G., Clowes, G., Tudorică, C., Kuri, V., & Brennan, C. (2002). Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. *International Journal of Dairy Technology*, 55, 89—93. <https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2002.00042.x>.
14. Villegas, B., & Costell, E. (2007). Flow behaviour of inulin-milk beverages. Influence of inulin average chain length and of milk fat content. *International Dairy Journal*, 17, 776—781. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2006.09.007>.
15. Tárrega, A., & Costell, E. (2006). Effect of inulin on rheological and sensory properties of fat-free starch-based dairy desserts. *International Dairy Journal*, 16, 1104—1112. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.09.002>.

16. Koca, N., & Metin, M. (2004). Textural, melting and sensory properties of low-fat fresh Kashar cheese produced by using fat replacers. *International Dairy Journal*, 14, 365—373. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.08.006>.
17. Sodor U., M., Snigdha, S., Jahan, F. F., Sohel, R., Kazi, Z., Altaf, H. F. M. (2024). Enhancing yogurt quality with inulin: a study on chemical, microbial, and sensory improvements. *Mansoura Veterinary Medical Journal*, 26(1). <https://doi.org/10.35943/2682-2512.1253>.
18. Guven, M., Yasar, K., Karaca, O. B., Hayaloglu, A. A. (2005). The effect of inulin as a fat replacer on the quality of set-type yogurt manufacture. *International Journal of Dairy Technology*, 58, 180—184. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2005.00210.x>.
19. Arango, O., Trujillo, A. J., Castillo, M. (2020). Influence of fat substitution by inulin on fermentation process and physical properties of set yoghurt evaluated by an optical sensor. *Food and Bioprocess Processing*, 124, 24—32. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.07.020>.
20. Żbikowska, A., Szymańska, I., Kowalska, M. (2020). Impact of Inulin Addition on Properties of Natural Yogurt. *Applied Sciences*, 10(12), 4317. <https://doi.org/10.3390/app10124317>.
21. Minj, J., Vij, S. (2017). Effect of Prebiotic Inulin on the Fermentation and Growth Kinetics Pattern of Probiotic Yoghurt Bacteria. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6(12), 1755—1768. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.612.199>.
22. Tsisaryk, O., Musii, L., Slyvka, I., Skulska, I., & Luchka, I. (2025). Technology of bifidoyogurt with fruit filler and with food additives. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 27(103), 78—89. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-fl0312>.
23. Геліх, А. О., Применко, В. Г., Василенко, О. О., Геращенко, М., Савісько, О. (2020). Оптимізація показників якості йогуртів із додаванням наповнювачів. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки*, 31(70), 2(1), 102—108.
24. Крижак, Л. М. (2022). *Clitoria ternatea* — джерело функціонального компоненту для збагачення йогуртів. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2. 182—187. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-307-2-182-187>.
25. Maldonado-Celis, M. E., Yahia, E. M., Bedoya, R., Landázuri, P., Loango, N., Aguillón, J., Restrepo, V., Guerrero Ospina, J. C. (2019). Chemical Composition of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit: Nutritional and Phytochemical Compounds. *Front Plant Sci.*, 17(10), 1073. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01073>.
26. Muniz Pereira, C.-T., Muniz Pereira, D., Cazelatto de Medeiros, A., Yumi Hiramatsu, E., Benetti Ventura, M., André Bolini, H.-M. (2021). Skyr yogurt with mango pulp, fructooligosaccharide and natural sweeteners: Physical aspects and drivers of liking. *LWT*, 150, 112054. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112054>.
27. Jia, H., Ren, F., Liu, H. (2025). Development of low glycemic index food products with wheat resistant starch: a review. *Carbohydrate Polymers*, 361, 123637. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2025.123637>.
28. Minj, J., Vij, S. (2025). Determination of synbiotic mango fruit yogurt and its bioactive peptides for biofunctional properties. *Frontiers in Chemistry*, 12, 1470704. <https://doi.org/10.3389/fchem.2024.1470704>.
29. Oliveira, R. P., Perego, P., Oliveira, M. N., Converti, A. (2011). Effect of inulin as a prebiotic to improve growth and counts of a probiotic cocktail in fermented skim milk. *LWT-Food Science and Technology*, 44(2), 520—523. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.08.024>.
30. Mazloomi, S. M., Shekarforoush, S. S., Ebrahimnejad, H., Sajedianfard, J. (2011). Effect of adding inulin on microbial and physicochemical properties of low fat probiotic yogurt. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 12(2), 93—98. <https://doi.org/10.22099/ijvr.2011.47>.
31. Ehsani, J., Mohsenzadeh, M., Khomeiri, M., Ghasemnezhad, A. (2018). Chemical Characteristics, and Effect of Inulin Extracted from Artichoke (*Cynara scolymus* L.) Root on Biochemical Properties of Synbiotic Yogurt at the End of Fermentation. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 37(2), 219—230. <https://doi.org/10.30492/ijcce.2018.26864>.

УДК 663.252.9

JUSTIFICATION OF TECHNOLOGY FOR POLYPHENOLIC EXTRACT FROM GRAPE POMACE OF ISABELLA VARIETY

M. Bilko¹, V. Kucherenko², O. Uspalenko³, A. Shevchenko¹, N. Frolova¹, R. Kyrylenko¹

¹National University of Food Technologies

²Ukrvinprom, Kyiv

³Ukrainian Wine Institute, Kyiv

Key words:

polyphenolic extract,
grape pomace,
Isabella,
extraction,
phenolic compounds,
anthocyanins

Article history:

Received 08.08.2025

Received in revised form
12.08.2025

Accepted 16.08.2025

Corresponding author:

olhauspalenko@gmail.com

ABSTRACT

This study is devoted to the development and substantiation of a technology for obtaining polyphenolic extract from grape pomace of the Isabella variety, a secondary raw material of winemaking that remains insufficiently utilized despite its high bioactive potential. Grape pomace, which accounts for 10–20% of grape processing residues, contains large amounts of phenolic compounds, anthocyanins, pectins, vitamins, minerals, and dietary fibers, often exceeding their concentration in fresh grapes. However, in practice, more than 80% of pomace is used only as fertilizer, which leads to the loss of valuable resources and creates environmental risks. The research aimed to evaluate the influence of key technological factors — solvent concentration, extraction temperature, pomace particle size, enzymatic treatment, and mixing — on the efficiency of extracting phenolic and coloring substances as well as on the organoleptic profile of the extracts. The experiments were conducted using water and water-ethanol solutions of different strengths (20–70% v/v) under controlled extraction schemes. Results demonstrated that the highest yield of phenolic compounds (up to 47.8%) and pigments (up to 40.3%) was achieved when a 40% ethanol solution was applied in combination with pomace crushing to 0.6–0.8 cm, providing extracts with an intensive ruby-garnet coloration, fruity aroma, and balanced sweet-sour taste. Cold maceration improved pigment stability by slowing down enzymatic oxidation, while excessive ethanol concentration led to co-extraction of undesirable components, negatively affecting sensory harmony. Enzymatic treatment with pectolytic preparations slightly enhanced extraction efficiency at lower ethanol levels but had limited effect at higher concentrations. The findings confirm that Isabella grape pomace is a promising raw material for obtaining polyphenolic extracts with pronounced biological activity and attractive sensory properties.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-8

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПОЛІФЕНОЛЬНОГО ЕКСТРАКТУ З ВИЧАВКИ ВИНОГРАДУ СОРТУ ІЗАБЕЛЛА

М. В. Білько¹, д-р техн. наук, ORCID ID 0000-0002-1122-4937

В. М. Кучеренко², канд. екон. наук, ORCID ID 0000-0002-0809-430X

О. В. Успаленко³, ORCID ID 0009-0005-5074-8169

А. О. Шевченко¹, д-р техн. наук, ORCID ID 0000-0002-6215-4860

Н. Е. Фролова¹, д-р техн. наук, ORCID ID 0000-0001-9661-1540

Р. Г. Кириленко¹, канд. техн. наук, ORCID ID 0000-0003-3263-1950

¹Національний університет харчових технологій

²Укрвинпром, м. Київ

³НВЦ Український інститут вина, м. Київ

У статті наведено результати дослідження умов отримання поліфенольного екстракту з виноградних вичавок сорту Ізабелла. Обґрунтовано вибір цього виду сировини як цінного джерела фенольних сполук, антоціанів і пектинових речовин. Проаналізовано вплив концентрації екстрагенту, температурного режиму, подрібнення та ферментативної обробки на вихід і органолептичні характеристики екстрактів. Встановлено, що оптимальним є використання водно-спиртового екстрагенту міцністю 40% об. у поєднанні з подрібненням вичавок, що забезпечує найвищий вміст фенольних і барвних речовин при збереженні гармонійних смакових властивостей.

Ключові слова: поліфенольний екстракт, вичавки винограду, Ізабелла, екстрагування, фенольні сполуки, антоціани.

Вступ. Виробництво виноматеріалів супроводжується утворенням значних обсягів побічного продукту — виноградних вичавок, що становить 10...20% від загальної маси винограду [1]. Незважаючи на те, що ці тверді залишки грона є багатим джерелом біологічно активних сполук, концентрація яких нерідко перевищує їх вміст в оригінальній сировині, їх використання досі залишається обмеженим. Така ситуація призводить до втрати цінних ресурсів, фінансових збитків та екологічного навантаження [2]. Вирішення цієї проблеми полягає в науково обґрунтованій розробці технологій переробки виноградних вичавок для отримання на її основі різноманітних цінних продуктів.

Виноградні вичавки — надзвичайно цінний вторинний ресурс для виробництва харчових продуктів і напоїв. Вона багата на біологічно цінні компоненти — харчові волокна, поліфеноли, вітаміни, мінеральні та інші речовини [3].

Продовжуючи обґрунтування актуальності розробки технології екстрагування поліфенолів, варто окремо зупинитися на виборі винограду сорту Ізабелла як сировинної бази. Хоча багато досліджень зосереджено на класичних європейських сортах, однак Ізабелла, попри деякі дискусії щодо її використання у виноробстві, має низку унікальних переваг, що роблять її надзвичайно перспективною для отримання цінних екстрактів [4].

Огляд останніх досліджень і публікацій. На практиці біоактивний потенціал і природний ресурс виноградних вичавок використовуються недостатньо. Понад 80% цих залишків застосовуються як добриво, і лише незначна їхня частина інтегрується до складу біологічно активних добавок. Науковий інтерес до виноградних вичавок як вторинного джерела сировини обґрунтовується декількома ключовими факторами:

по-перше, вони містять комплекс біологічно активних речовин, якісний склад і кількісний вміст яких дозволяє розглядати вичавки як перспективну сировину для виробництва біологічно активних добавок у формі порошків та екстрактів; по-друге, потенційні обсяги їхнього утворення класифікують їх як промислову сировину; по-третє, зростаючі щорічні обсяги виноградних вичавок, що утворюються при переробці винограду, можуть становити значну екологічну загрозу, що вимагає розробки ефективних методів їх застосування.

Проблемами використання вторинних продуктів виноробства присвячені численні дослідження багатьох науковців [1—7]. Однак відомі технології переробки виноградних вичавок були розроблені для відомих європейських сортів винограду і часто вимагали дорогого обладнання, значних допоміжних матеріалів та окремих виробничих потужностей.

Згідно даних Кічура із співавт., маса шкірки винограду Ізабелла порівняно з французькими сортами винограду Каберне Совіньйон, Мерло та грузинським Сапераві у 1,6...2,1 раза більша [8].

Дослідження вчених показали, що вичавки винограду Ізабелла містить амінокислоти, полісахариди, цукри, органічні кислоти, фенольні сполуки, стильбени тощо. Також до властивостей цього сорту відносять: високий вміст вітамінів групи В; велику кількість корисних ферментів, антиоксидантів і мінералів: калію, магнію, бром, заліза тощо [4].

Найбільш цінною групою речовин виноградних вичавок Ізабелли є фенольні сполуки, які представлені антоціанами, фенолкислотами, флаваноїдами та поліфенолами. Загальний вміст поліфенолів у цьому сорті сягає 1500...3000 мг на 100 г ягід.

Відомо, що фенольні речовини винограду здатні інгібувати розвиток злоякісних пухлин, мають антимуtagenну активність, бактерицидну дію, антивірусний ефект тощо [4]. Фенольні сполуки значно підвищують неспецифічну резистентність організму до ендогенних та екзогенних факторів. Медико-біологічні властивості флавононів виявляються у їхньому впливі на рівень холестерину та триацилгліцеридів. Ця здатність впливати на ліпідний обмін дає змогу проводити ефективну профілактику патологічних станів, пов'язаних із підвищеним вмістом ліпідів у крові.

Червоний колір виноградної шкірки Ізабелли, як і інших червоних сортів винограду, зумовлений фенольними сполуками, зокрема антоціанами, які володіють широким спектром біологічної активності. Серед їхніх ключових властивостей — здатність підвищувати еластичність кровоносних судин і покращувати гостроту зору. Крім того, антоціани позитивно впливають на проникність капілярів, що покращує кровопостачання мозку, і сприятливо діють на кровотворну функцію кісткового мозку [2].

Вичавки Ізабелли містить багато водорозчинних полісахаридів, пектинових речовин і геміцелюлози, що мають фізіологічно функціональну активність [4].

Пектини відіграють ключову роль у підтримці травного процесу та підвищенні загальної резистентності організму до різноманітних захворювань. Їхня дія проявляється в нормалізації рівня холестерину в крові, сприянні регенерації слизових оболонок дихальних і травних шляхів після подразнень та запальних процесів. Крім того, пектини позитивно впливають на внутрішньоклітинне дихання тканин і загальний обмін речовин. Завдяки своїм вираженим комплексоутворювальним властивостям пектинові речовини також ефективно виводять з організму іони важких металів та радіоактивні елементи [4, 9].

Умови екстрагування відіграють ключову роль у вилучанні цінних компонентів з виноградних вичавок. Так, дослідження Хомич із співавтор. показали, що зі збільшенням міцності водно-спиртового екстрагенту в діапазоні між 40 до 70% об. протягом 1 год за температури 50 °С відбувається збільшення частки екстрагованих фенольних сполук, зокрема й антоціанів. Найбільший вміст екстрагованих фенольних речовин складав більше 66%. Натомість підвищення температури в процесі екстрагування можуть призводити до негативних змін і втрати органолептичних показників [2].

Дослідження Осіпової показало, що міцність водно-спиртового екстрагента в діапазоні 40...80% об. не викликає суттєвої різниці між зразками у вмісті екстрагованих фенольних сполук з винограду сорту Каберне Совіньйон за температури 18...20 °С, проте менша концентрація розчинів, до 40% об., і більша, понад 80% об., вилучає у 1,5...2,0 рази менше фенольних сполук. Автор наголошує на важливості ступеня подрібнення вичавок, що сприяє збільшенню ефективності вилучення фенольних речовин. Крім того, зазначається, що перемішування під час екстрагування дозволяє скоротити тривалість процесу [10, 11].

Сумська та інші автори у своїх дослідженнях щодо ефективності екстрагування антоціанів з винограду сорту Одеський чорний з урахуванням температурного фактора зазначає, що антоціани екстрагуються повніше у водному середовищі при збільшенні температури від 45 до 100 °С, ніж у середовищі етанолу за таких же температурних умов. Результати досліджень свідчать, що оптимальними режимами для вилучення антоціанів є їх екстрагування етанолом за температури 25 °С протягом 30 хв і вилучання водним розчином за температури 70 °С протягом такого ж проміжку часу. Разом з тим, автори відзначають погану стійкість антоціанів протягом зберігання та вказують на їх часткове руйнування за високих температур екстрагування [12].

Подібні дослідження, спрямовані на встановлення ефективних умов екстракції виноградних вичавок сорту Ізабелла з метою отримання екстрактів з високим вмістом фенольних сполук та приємними органолептичними характеристиками, наразі відсутні в науковій літературі.

Мета дослідження полягала в обґрунтуванні технологічних рішень для отримання поліфенольного екстракту з вичавок винограду сорту Ізабелла.

Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання:

- дослідити органолептичні характеристики екстрактів, отриманих залежно від різних технологічних умов екстрагування;
- визначити вплив перемішування, подрібнення, внесення ферментного препарату пектолгітичної дії й температури екстрагування на вміст фенольних і барвних речовин в екстрактах;
- обґрунтувати вибір раціонального режиму екстрагування виноградних вичавок із Ізабелли;

Матеріали і методи. Вичавки стиглого винограду сорту Ізабелла (кондиції винограду — масова концентрація цукрів 212 г/дм³, титрованих кислот — 7,0 г/дм³) після отримання сусла-самопливу та пресових фракцій сусла вологістю 48...50%. Механічний склад вичавок становив: шкірка — 59%, залишки м'якоти 19%, насіння 22%. Вміст барвних речовин становив 1,31 г/100 г, фенольних речовин — 4,62 г/100 г.

При проведенні дослідження застосовували загальноприйняті у виноробстві методи аналізу. Вміст фенольних сполук визначали колориметричним методом із застосуванням реактиву Фоліна-Чокольтеу, барвних речовин — колориметричним методом із стабілізацією кольору спиртом, підкисленим до рН 1 соляною кислотою.

Оцінювання органолептичних характеристик екстракту з виноградних вичавок здійснювали, використовуючи сенсорний дескрипторний метод аналізу. Було обрано п'ять дескрипторів — насиченість кольору, інтенсивність аромату, гармонія смаку, спиртуозність, екстрактивність. Інтенсивність оцінювали у балах від 0 до 5, де 0 балів — відсутній, 1 — ледве відчутний, 2 — слабо відчутний, 3 — середньо відчутний, 4 — яскраво виражений, 5 — інтенсивний. Для створення смакових та ароматичних профілів зразків екстрактів застосовували описовий метод.

Перший етап досліджень було присвячено виготовленню поліфенольних екстрактів з вичавок винограду сорту Ізабелла, які виробляли за чотирма схемами екстракції. Застосовували водні та водно-спиртові екстрагенти об'ємною часткою 20, 40, і 70% об.

Варіювали температурними режимами з різною кратністю перемішування, ступенем подрібнення вичавок та застосуванням пектолітичного ферментного препарату (ФП) Дспектил кларифікейшн (Франція). Варіанти дослідів представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Варіанти експерименту

Схема експерименту	Ступінь подрібнення вичавок, см	Концентрація екстрагенту, % об.	Кратність/тривалість перемішування, хв	Тривалість екстракції, дів	ФП, г/дал	Температура, °С
1	—	0, 20, 40, 70	—	7	—	6...8
2	—	те саме	3/2	2	—	18...20
3	0,6...0,8	те саме	3/2	те саме	—	те саме
4	—	те саме	12/2	те саме	0,2	те саме

Співвідношення вичавок до екстрагенту у всіх дослідях становило 1:3. Після завершення процесу екстрагування екстракти відділяли від твердих залишків фільтруванням.

Результати досліджень. За варіантом дослідів 1, який передбачав проведення процесу за знижених температур тривалістю 7 дів, отримані екстракти було проаналізовано органолептично і визначено основні характеристики, які представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Органолептичні характеристики зразків екстрактів, виготовлених за схемою 1

Концентрація екстрагенту, % об.	Органолептична характеристика
0	<i>Колір</i> — рубіновий <i>Аромат</i> — виражений аромат суниці <i>Смак</i> — солодкувато-кислий, ненасичений, простий, водянистий
20	<i>Колір</i> — рубіново-гранатовий з цибулевим відтінком <i>Аромат</i> — свіжої ягоди винограду із тоном зелені <i>Смак</i> — солодкувато-кислий, відсутність гармонії
40	<i>Колір</i> — гранатовий з фіолетовим відтінком <i>Аромат</i> — ягідно-фруктові нотки, джеміві нотки <i>Смак</i> — солодкуватий, в міру екстрактивний, нотки перестиглої вишні, спиртуозний
70	<i>Колір</i> — рубіново-гранатовий <i>Аромат</i> — смородини, ожини, вишні, трохи присутні фруктові нотки <i>Смак</i> — спиртуозний, терпкуватий, солодкий з кислинкою, екстрактивний, присмак червоних ягід

Знижена температура екстрагування призводить до мінімальних відмінностей між зразками, незважаючи на варіації міцності водно-спиртового екстрагенту від 0 до 70% об. Колір екстрактів знаходився у рубіново-гранатовій гамі, аромат характеризувався свіжими ягідно-фруктовими нотками, а смак кисло-солодкий, і тільки в міру збільшення міцності екстрагенту відчувалася виражена спиртуозність в екстрактах. Виявлені закономірності пояснюються тим, що низькі температури обмежують розчинність екстрактивних речовин та інгібують активність ферментів.

Інтенсифікація процесу екстрагування (схема 2—4) дозволила отримати екстракти з відмітними органолептичними характеристиками, а застосування сенсорного аналізу встановити різницю в інтенсивності дескрипторів.

Результати сенсорного аналізу екстрактів виноградних вичавок за схемою 2, яка передбачала перемішування за температур 18...20 °С, представлено на рис. 1.

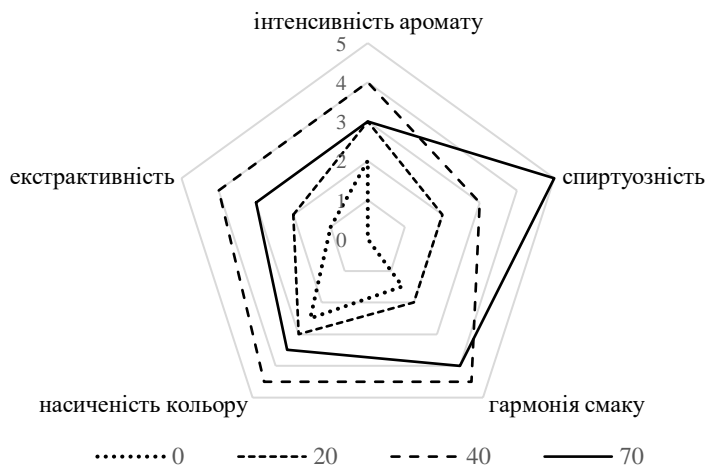


Рис. 1. Профілограма сенсорних характеристик екстрактів виноградних вичавок за схемою 2

Інтенсивність кольору екстрактів виноградної шкірки значною мірою залежить від міцності екстрагенту, особливо якщо йдеться про водно-спиртові розчини, оскільки саме спирт допомагає вилучати антоціани, які є основними пігментами червоних сортів винограду.

У разі екстрагування водним розчином інтенсивність кольору була низька, що пояснюється обмеженою здатністю вилучати антоціани та інші фенольні сполуки з клітинних стінок виноградної шкірки, оскільки вода є полярним розчинником. Багато антоціанів пов'язані з іншими компонентами або знаходяться у вакуолях, з яких їх важко екстрагувати лише водою без руйнування клітинної структури чи впливу рН.

Слабкий водно-спиртовий розчин міцністю 20% об. надає більшій інтенсивності кольору, оскільки присутність спирту покращує змочуваність сировини та руйнує деякі клітинні структури, дозволяючи антоціанам краще вивільнитися. Водночас така концентрація спирту не є оптимальною для максимального вилучення пігментів.

Збільшення міцності екстрагенту до 40% об. забезпечує хороший баланс полярності та руйнування клітинних мембран, що сприяє максимальному вивільненню пігментів. Слід відмітити, що за гармонією смаку, екстрактивністю та інтенсивністю аромату цей зразок мав найбільші бали.

Подальше збільшення міцності призводило до зменшення інтенсивності кольору, хоча вища концентрація спирту може покращувати екстракцію деяких неполярних

сполук. Для антоціанів, які є полярними глікозидами, концентрація спирту вище 50...60% об. може зменшувати їхню розчинність. Крім того, при високих концентраціях спирту можлива ко-екстракція інших речовин, наприклад, ліпідів, восків, які можуть призвести навіть до помутніння екстракту.

Подрібнення виноградних вичавок інтенсифікує процес екстракції. Зменшення розміру часток до 0,6...0,8 см збільшило площу контакту між сировиною та екстрагентом, що сприяло активнішому вивільненню речовин екстракту. Такі зміни відобразилися на збільшенні екстрактивності у всіх зразках, інтенсивності аромату та насиченості кольору (рис. 2). Відчуття спиртуозності у варіантах з вмістом спирту 40 та 70% об. було виражено менше, порівняно зі схемою 2.

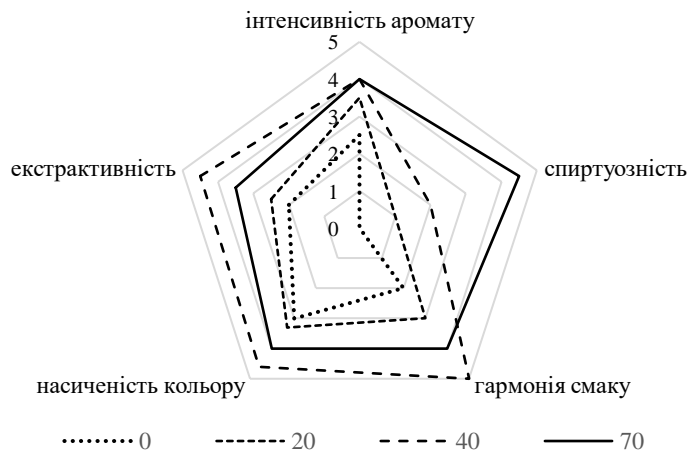


Рис. 2. Профілограма сенсорних характеристик екстрактів виноградних вичавок за схемою 3

Попередня ферментативна обробка (схема 4), ймовірно, сприяла руйнуванню клітинних стінок, що дозволило трохи збільшити насиченість кольору та інтенсивність аромату у всіх зразках, натомість була дещо втрачена гармонія смаку, хоча відчуття спиртуозності мало меншу інтенсивність.



Рис. 3. Профілограма сенсорних характеристик екстрактів виноградних вичавок за схемою 4

Аналіз екстрактів з виноградних вичавок сорту Ізабелла показав, що частка вилучення фенольних і барвних речовин становить 21,7...47,8% та 8,5...42,4% відповідно і залежить від обраної експериментальної схеми та міцності екстрагенту (таблиця 3). Найбільший відсоток фенольних сполук було відмічено у варіанті отримання екстракту за схемою 3 у разі використання екстрагенту міцністю 40% об., а барвних речовин — за схемою 1 екстрагентом міцністю 70% об. Натомість, найменші значення частки екстрагування як фенольних, так і барвних сполук спостерігалися при використанні води як екстрагенту у схемах 1 та 2 відповідно.

Таблиця 3. Частка екстрагування фенольних і барвних речовин з вичавок винограду сорту Ізабелла залежно від схеми експерименту, %

Міцність екстрагенту, % об.	Фенольні речовини				Барвні речовини			
	Схема досліду							
	1	2	3	4	1	2	3	4
0	21,7	32,5	34,6	36,8	15,7	8,5	14,7	15,6
20	32,5	41,1	43,7	43,3	17,3	34,7	35,3	32,1
40	31,2	47,6	47,8	47,6	29,9	38,2	40,3	35,9
70	43,3	47,7	43,3	41,1	42,4	36,3	33,6	28,2

Міцність екстрагенту та температура екстрагування є суттєвими чинниками впливу на ступінь вилучення фенольних сполук з вичавок. Зі збільшенням концентрації спирту в екстрагенті зростає вміст фенольних сполук як у схемі 1, що передбачала охолодження до 6...8 °С під час екстрагування, так і у схемі 2, де процес відбувався за скороченого часу, але за вищих температур 18...20 °С (рис. 4).

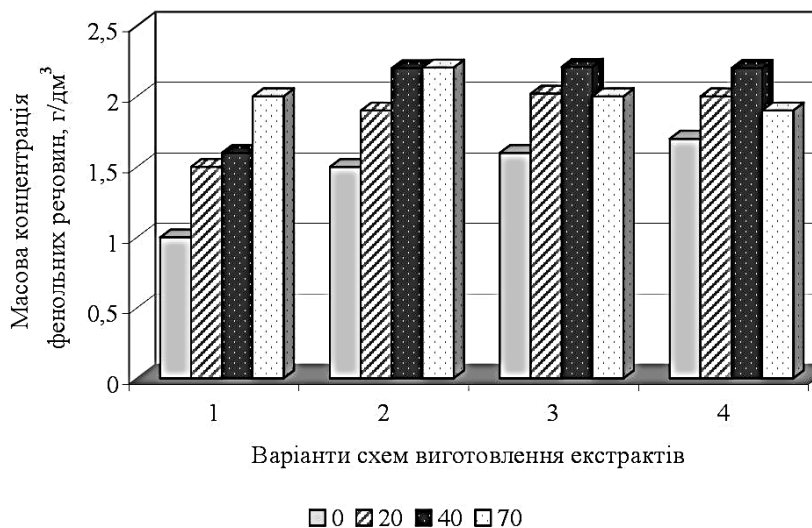


Рис. 4. Вміст фенольних сполук в екстрактах виноградних вичавок залежно від міцності екстрагенту (0, 20, 40, 70% об.) та варіанта схем експерименту

У схемах 3 та 4 максимальна кількість ФР була вилучена з вичавки у разі застосування екстрагенту міцністю 40% об., що становило 2,2...2,21 г/дм³. Подальше збільшення міцності призводило до зменшення їх вмісту у екстрактах на 9% (схема 3) і 14% (схема 4).

Подрібнення вичавок (схема 3) сприяє невеликому збільшенню вмісту ФР до 6% в діапазоні концентрацій екстрагенту 0...40% об.

Порівняння результатів схеми 2 та 4 дозволило встановити, що обробка вичавок ферментним препаратом сприяла отриманню кращого ефекту екстрагування ФР у варіантах за міцності до 20%. Імовірно, етиловий спирт у вищих концентраціях виступає інгібітором або денатуруючим агентом для білків-ферментів, на що вказувало зменшення вмісту фенольних сполук в екстрактах.

Холодна мацерація сприяла інтенсивнішому вилученню барвних речовин як у водному середовищі на 85%, так і при 70% об. концентрації екстрагенту на 17%, що підтверджується порівнянням результатів схем 1 і 2 (рис. 5). Натомість у варіантах, де концентрація екстрагенту була 20 і 40% об., отримали зворотну залежність.

Отримані результати можна пояснити комплексною взаємодією факторів. Холодна мацерація має кілька ключових ефектів, що впливають на вилучення антоціанів, які є відносно нестабільними сполуками, особливо чутливими до підвищених температур і ферментативного окислення. Низькі температури значно сповільнюють активність окислювальних ферментів та окислювальні процеси. Це дозволяє зберегти більшу кількість антоціанів у їхній вихідній формі, запобігаючи їхньому руйнуванню. Також за низьких температур зменшується розчинність ліпідів, восків, високомолекулярних білків і пектинів. Ці речовини можуть перешкоджати вивільненню антоціанів, осаджуючи їх або взаємодіючи з ними. За умов холоду ці речовини менше переходять у розчин, що сприяє повнішому вилученню антоціанів.

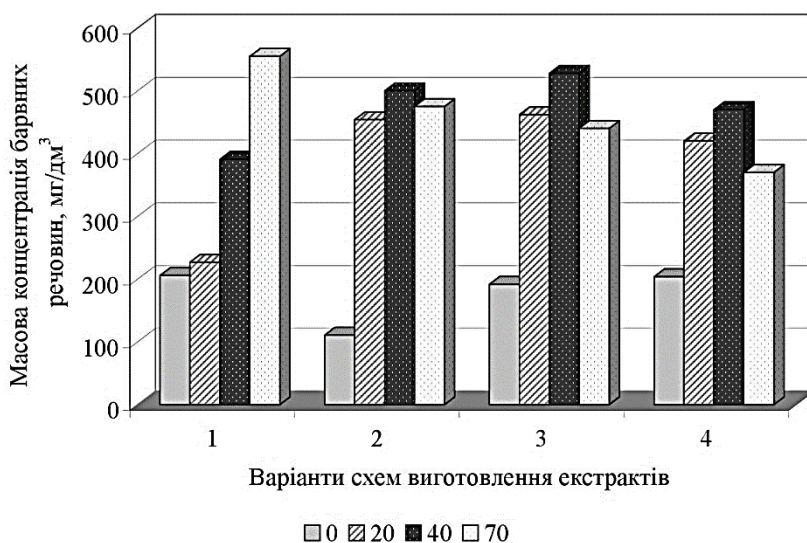


Рис. 5. Вміст барвних речовин в екстрактах виноградних вичавок залежно від міцності екстрагенту (0, 20, 40, 70% об.) та варіанта схем експерименту

Висока концентрація водно-спиртового розчину 70% об. є дуже ефективним денатуруючим агентом для окислювальних ферментів, тому навіть без охолодження ферментативна активність буде майже нульовою. Однак холодна температура додатково підсилює стабілізацію екстракту, зменшуючи ймовірність окислення.

При міцності екстрагенту 20 і 40% об. помірна температура може забезпечувати оптимальне співвідношення між руйнуванням клітинних стінок, дифузією та розчинністю антоціанів. Холодна ж мацерація в цьому діапазоні екстрагенту, ймовірно, є

недостатньо ефективною для кращого вивільнення антоціанів.

Подрібнення вичавок є ефективним технологічним прийомом для отримання барвних сполук у разі водної екстракції, їх вміст збільшився на 72%. Однак навіть при такому збільшенні загальний вміст барвних сполук у водних екстрактах залишався найнижчим серед усіх досліджених варіантів екстрагенту — 192 мг/дм³.

При застосування 20% об. екстрагенту вміст антоціанів у разі подрібнення вичавок збільшився лише на 2%, а при 70% зменшення їх вмісту на 7%. Було відмічено найбільшу концентрацію барвних речовин в екстракті, який склав 528 мг/дм³, при використанні 40% об. екстрагенту.

Застосування ферментного препарату під час екстрагування не сприяло суттєвому підвищенню вмісту антоціанів у водному екстракті, а у водно-спиртових навіть призводило до їх зменшення.

Висновки. За результатами проведених досліджень встановлено, що виноградні вичавки сорту Ізабелла є цінною вторинною сировиною з високим потенціалом для отримання поліфенольних екстрактів. Її біоактивний потенціал використовується недостатньо, що свідчить про нераціональне використання ресурсів і створює екологічні ризики.

Аналіз екстрактів з виноградних вичавок сорту Ізабелла підтвердив, що органолептичні характеристики залежать від обраної експериментальної схеми та міцності екстрагенту. Отримані екстракти характеризувалися рубіново-гранатовою гамою кольору, свіжими ягідно-фруктовими нотками аромату та кисло-солодким смаком; лише зі збільшенням міцності екстрагенту спостерігалася виражена спиртуозність.

Встановлено, що знижена температура екстрагування призводить до мінімальних відмінностей між зразками, попри варіації міцності водно-спиртового екстрагента від 0 до 70% об.

Інтенсивність кольору екстрактів безпосередньо залежить від міцності екстрагенту. Оптимальний баланс для максимального вивільнення пігментів та отримання найкращих органолептичних показників забезпечувало застосування екстрагенту міцністю 40% об. Подальше збільшення міцності екстрагенту зменшувало інтенсивність кольору та дисбаланс смакових характеристик і зайву спиртуозність.

Подрібнення вичавок до розміру частинок 0,6—0,8 см значно інтенсифікує процес екстракції, збільшуючи площу контакту між сировиною та екстрагентом. Це сприяє екстрагуванню фенольних і барвних речовин із вичавок винограду. Найбільший їх вміст зафіксовано при використанні 40% об. екстрагенту у поєднанні з попереднім подрібненням — фенольних сполук на 47, 8% і барвних речовин на 40,3% із вичавок винограду Ізабелла.

Представлені технологічні рішення дозволять отримувати поліфенольний екстракт з виноградних вичавок сорту Ізабелла, що вирізняється високими біологічними властивостями та приємними органолептичними характеристиками. Розроблена технологія екстрагування поліфенолів може бути реалізована у комплексний цикл переробки виноградної сировини, забезпечуючи максимальне використання ресурсів і зменшуючи обсяги відходів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Global Footprint Network. *Choice Reviews Online*. 2009, 46(11), 46—61. <https://doi.org/10.5860/choice.46-6153> (date of access: 25.04.2022).
2. Osipova, L., Khodakov, A., Radionova, O., Tkachenko, L., & Abramova, T. (2021). The current state and trends of processing secondary raw materials of winemaking in Ukraine. *Food Science and Technology*, 15(2). <https://doi.org/10.15673/fst.v15i2.2031>.

3. Левицький, А. П., Лапінська, А. П., Селіванська, І. О., Ходаков, І. В. (2014). Використання побічних продуктів переробки винограду у функціональній годівлі сільськогосподарських тварин та птиці. *Наукові праці ОНАХТ*, 1(46), 51—57.

4. Воробйова, В. І., Чигиринець, О. Е., Скиба, М. І. (2015). Теоретичні дослідження адсорбційної здатності органічних сполук екстракту відходів переробки винограду. *Технічні науки та технології*, 2(2), 215—222.

5. Касьянов, Г. І., Тагірова, П. Р. (2014). Раціональна переробка вторинних ресурсів виноробства. *Вісті вузів. Харчова технологія*, 4, 121—123.

6. Кічура, Д. Б., Субтельний, Р. О., Дзіняк, Б. О. (2022). Одержання фенольних сполук з вторинних продуктів виноробства. *Chemistry, Technology and Application of Substances*, 5(1), 88—95. <https://doi.org/10.23939/ctas2022.01.088>.

7. Осипова, Л. А. Обоснование и разработка технологии ликеров из виноградных выжимок. *Харчова наука і технологія*, 3(28), 68—73.

8. Каліновська, Т. В., Оболкіна, В. І., Крапівницька, І. О., Брановицька, Т. Ю. (2014). Розробка технології переробки виноградних вичавок з отриманням пектиновмісних напівфабрикатів для кондитерської промисловості. *Хлібопекарська та кондитерська промисловість України*, 07—08(116—117), 6—11.

9. Семенова, О. І., Жилик, А. В. (2015). Використання твердих відходів виноробства як вторинної сировини для отримання нового продукту. *Materials of the XI international scientific and practical conference "Science and civilization — 2015"*, 30 January—07 February, 2015. Sheffield: Science and Education LTD, 22, 23—25.

10. Сумська, О. П., Поліщук, Б. С., & Іщенко, О. В. (2024). Оцінка біотехнологічного потенціалу антоціанів виноградної сировини сорту Одеський чорний. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 6, 222—233. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.25>.

11. Тюленєва, Ю. В., Шакур, А. С. (2017). Переробка відходів виноробної промисловості, як один з методів підвищення економіки України. *Сучасні проблеми економіки і підприємництва*, 20, 45—53.

12. Хомич, Г. П., Левченко, Ю. В., Чоні, І. В. (2022). Комплексна переробка винограду з отриманням алкогольних і безалкогольних напоїв. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*, 1, 55—62. <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2022-1-9>.

УДК 637.146.34:664.8.039

SPICES AS MULTIFUNCTIONAL INGREDIENTS IN YOGURT TECHNOLOGY

I. Dmytrenko, G. Polishchuk

National University of Food Technologies

Key words:

yogurt,
spices,
functional products,
antioxidant activity,
probiotics,
microencapsulation,
bioavailability,
food safety

Article history:

Received 27.07.2025

Received in revised form
12.08.2025

Accepted 15.08.2025

Corresponding author:

milknuft@i.ua

ABSTRACT

The article presents a comprehensive review of contemporary scientific research on the use of spices in yogurt, analyzing their functional properties and technological aspects. The functional properties of main spices including turmeric, ginger, cinnamon, cardamom, cloves, and black pepper used for yogurt product enrichment are systematically analyzed. The influence of spice addition on antioxidant activity, antimicrobial properties, rheological characteristics, and shelf life of yogurt is examined. Technological parameters of functional yogurt with spices and their effect on probiotic cultures are summarized. Biochemical mechanisms of action of active spice compounds, methods of their encapsulation and bioavailability enhancement are analyzed. Regional features of functional dairy product markets and prospects for personalized nutrition development are identified. The impact of spices on organoleptic properties, nutritional value and safety of yogurt drinks is considered. The analysis reveals that turmeric addition increases antioxidant activity by 51% and enhances phenolic compounds content from 1.39 to 30.20 mg per 100g of product. Ginger demonstrates significant antioxidant activity reaching 48.39% after 30 days of storage when 3% ginger juice is added, while cinnamon extract at 2% concentration provides the highest antioxidant activity among studied concentrations. Antimicrobial properties analysis shows that spice combinations demonstrate synergistic effects against pathogenic microorganisms with minimal inhibitory concentrations: clove oil 0.15–0.28 mg/ml against *S. aureus*, cinnamon-black pepper combination reducing viable cells by 2 logarithmic units. Optimal spice concentrations are established as turmeric 0.5–1.0%, ginger 1–3%, cinnamon 0.3–0.5%, cardamom 0.6%, and black pepper 0.125–0.375%. Microencapsulation technologies allow significant improvement in bioavailability and stability of active spice compounds with encapsulation efficiency reaching 89.7–94.2% for different methods. Global spicy dairy products market demonstrates stable growth at 6.2% CAGR with market value of \$680.95 million in 2023 projected to reach \$1.24 billion by 2033. The use of spices in yogurt drinks represents a promising direction for food industry development enabling creation of innovative functional products with high biological value and improved consumer properties.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-9

ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЙОГУРТУ З ПРЯНОЦАМИ

І. Т. Дмитренко, аспірант, ORCID ID: 0009-0005-3604-0850

Г. Є. Поліщук, д.т.н., проф., ORCID ID: 0000-0003-3013-3245

Національний університет харчових технологій

В аналітичному огляді систематизовано науково-технічну інформацію про особливості застосування прянощів у складі йогурту. Наведено дані щодо функціональних властивостей прянощів та особливостей їхнього впливу на антиоксидантну активність, антимікробні властивості, активність пробіотичних бактерій, реологічні характеристики і термін придатності йогурту. Узагальнено технологічні параметри виробництва функціонального йогурту з прянощами. Проаналізовано біохімічні механізми дії активних сполук прянощів, методи їх інкапсуляції та підвищення біодоступності. Визначено регіональні особливості ринку функціональних молочних продуктів і перспективи розвитку персоналізованого харчування. Розглянуто вплив прянощів на органолептичні властивості та харчову цінність йогурту. Визначено перспективи розвитку застосування прянощів у складі ферментованих молочних напоїв.

Ключові слова: йогурт, прянощі, функціональні продукти, антиоксидантна активність, пробіотики, мікроінкапсуляція, біодоступність, харчова безпека.

Постановка проблеми. Сучасна харчова промисловість характеризується суттєвими змінами в споживчих уподобаннях і зростаючим попитом на функціональні продукти харчування, які не лише забезпечують організм необхідними поживними речовинами, але й мають виражені лікувально-профілактичні властивості [1, 2]. Цей тренд обумовлений підвищенням рівня освіченості споживачів щодо зв'язку між харчуванням і здоров'ям, зростанням захворюваності на неінфекційні хвороби, а також демографічними змінами, пов'язаними зі старінням населення в розвинених країнах світу.

Йогурт як продукт з високим вмістом пробіотичних культур і біологічно активних речовин займає особливе місце серед функціональних харчових продуктів шляхом поєднання традиційних властивостей з можливістю додавання різноманітних функціональних інгредієнтів [3]. Глобальний ринок пробіотичних йогуртів оцінюється в 7,6 млрд доларів США станом на 2023 рік з прогнозованим зростанням до 13,8 млрд доларів до 2028 року, що відповідає складному річному темпу зростання 12,7%.

Збагачення йогурту та його аналогів прянощами являє собою особливо перспективний напрям розвитку технологій, що дозволяє отримувати продукцію з підвищеною біологічною цінністю, покращеними органолептичними характеристиками та подовженим терміном придатності [1, 4]. Прянощі містять широкий спектр біологічно активних сполук, у тому числі поліфеноли, флавоноїди, терпени, алкалоїди та ефірні олії, які проявляють антиоксидантну, антимікробну, протизапальну та імуномодулюючу активність.

Глобальний ринок збагачених прянощами молочних продуктів демонструє стабільне зростання та оцінювався у 680,95 млн доларів США в 2023 році з очікуваним зростанням з річним темпом 6,2% протягом 2024—2033 років [5]. Цей ринок характеризується високою динамікою інновацій та постійним впровадженням нових продуктів, що відповідають мінливим споживчим потребам.

Функціональні напої, збагачені прянощами, відповідають сучасним трендам здорового харчування, оскільки поєднують традиційні пробіотичні властивості ферментованих молочних продуктів з біологічно активними сполуками пряно-ароматичних рослин [6]. Споживачі все більше віддають перевагу продуктам з натуральними інгредієнтами, що мають доведені функціональні властивості та можуть сприяти профілактиці серцево-судинних захворювань, цукрового діабету 2-го типу, онкологічних захворювань і нейродегенеративних розладів [2, 6].

Особливого значення набуває питання біодоступності біологічно активних сполук прянощів у складі молочних продуктів. Йогуртова матриця може не тільки сприяти підвищенню біодоступності деяких сполук завдяки взаємодії з молочними білками та ліпідами, але й знижувати її через зв'язування з кальцієм або іншими мінералами [7, 8], що вимагає детального вивчення біохімічних взаємодій між компонентами прянощів і складовими йогурту.

Сучасні споживчі тенденції також свідчать про зростаючий інтерес до етнічних смаків та екзотичних поєднань у харчових продуктах [9, 10]. Прянощі дозволяють створювати унікальні смакові профілі йогурту, що підвищує його конкурентну перевагу серед інших видів функціональних напоїв. Водночас використання прянощів ставить перед виробниками нові технологічні виклики, пов'язані із забезпеченням стабільності смаку, кольору та консистенції продукту протягом усього терміну придатності [11, 12].

Огляд останніх досліджень і публікацій. *Функціонально-технологічна активність куркуми у складі ферментованих молочних напоїв.* Дослідження функціональних властивостей куркуми (*Curcuma longa*) у молочних продуктах активно проводяться у світі протягом останнього десятиліття. Куркума містить понад 300 хімічних сполук, серед яких найбільш вивченими є куркуміноїди: куркумін (75—85%), деметоксикуркумін (10—15%) та бісдеметоксикуркумін (2—5%). Значний внесок у вивчення впливу куркуми на молочні продукти зробив Сікрамаз [13], який встановив, що додавання куркуми до йогурту збільшує антиоксидантну активність на 51% та підвищує вміст фенольних сполук з 1,39 до 30,20 мг галової кислоти на 100 г продукту.

Буніовська-Олейник та співавтори [14] провели фундаментальне дослідження щодо впливу куркуміну на життєздатність пробіотичних бактерій, антибактеріальну активність до патогенних мікроорганізмів і показники якості нежирного йогурту з куркуміном впродовж 28 діб зберігання при температурі зберігання 4 ± 1 °C. Результати показали, що водорозчинна та високобіодоступна форма стандартизованого екстракту куркуми NOMICU® L-100 підтримує рівень *Bifidobacterium animalis subsp. lactis BB-12* у йогурті на рекомендованому рівні ($7-9 \log$ КУО/г) протягом усього періоду зберігання.

Ель-Саадоні та співавтори [7] у комплексному огляді підтвердили суттєві фармакологічні властивості куркуміну в молочних продуктах, зокрема його здатність пригнічувати запальні процеси через інгібування циклооксигенази-2 (COX-2), ліпооксигенази (LOX) та транскрипційного фактора NF-κB. Автори встановили, що біодоступність куркуміну в молочних продуктах може бути підвищена в 2—3 рази завдяки взаємодії з казеїновими міцелами та молочними ліпідами.

Дослідження Гонсалвеса та співавторів [8] присвячено інноваційному підходу до підвищення біодоступності куркуміну через його інкапсуляцію в твердих ліпідних наночастинках (SLN). Автори показали, що інкапсуляція покращує стабільність куркуміну під час зберігання на 47% та підвищує його вивільнення в умовах травлення

in vitro на 65%. Трибо-реологічні властивості йогурту з інкапсульованим куркуміном характеризувалися покращеною текстурою та зниженим коефіцієнтом тертя, що позитивно впливає на сенсорне сприйняття продукту.

Дослідження, проведені у 2025 році Буніовською-Олейник та співавторами [15], продемонстрували, що додавання 0,2% високобіодоступної форми куркуміну призводить до значного збільшення вологоутримуючої здатності йогурту. Автори також встановили, що куркумін стимулює продукування екзополісахаридів пробіотичними бактеріями, що сприяє покращенню реологічних властивостей готового продукту [14].

Отже, куркумін є доволі універсальним інгредієнтом у складі йогурту, який спроможний покращувати сенсорне сприйняття продукту, покращувати його реологічні характеристики й антиоксидантні властивості, активувати молочнокислі та біфідобактерії, виявляти фармакологічну дію.

Дослідження імбиру в ферментованих молочних продуктах. Імбир (*Zingiber officinale*) найбільш широко досліджено у складі функціональних молочних продуктів. Основними біологічно активними сполуками імбиру є гінгероли (6-гінгерол, 8-гінгерол, 10-гінгерол), шогаоли (6-шогаол, 8-шогаол, 10-шогаол), зингерон та ефірні олії. Фельфуль і співавтори [16] дослідили вплив імбирного порошку на характеристики ферментованих молочних продуктів при його використанні у кількості від 0,5 до 2,5% (в/об). Результати досліджень показали, що імбир прискорює швидкість зниження рН під час ферментації з 4,2 до 3,8 за перші 4 години, що пов'язано з пребіотичним ефектом гінгеролів на молочнокислі бактерії. Автори також встановили збільшення вмісту загальних сухих речовин на 8—12%, зменшення швидкості синерезису на 25—30% та значне покращення текстурних властивостей зразків йогурту. Реологічні дослідження показали зростання модуля пружності йогурту (G') з 245 Па до 312 Па при додаванні 2% імбирного порошку.

Мелія та співавтори [17] зосередилися на вивченні червоного імбиру (*Zingiber officinale var. rubrum*) як джерела антиоксидантів у козячому йогурті з пробіотичною культурою *Pediococcus acidilactici* VK01 впродовж зберігання зразків продукту до 30 днів при температурі 4 ± 1 °C. Антиоксидантна активність, виміряна методом DPPH, досягала максимального значення 48,39% після 30 днів зберігання при додаванні 3% імбирного соку, що на 67% вище порівняно з контрольним зразком.

Габбі та співавтори [18] досліджували фізико-хімічні, реологічні та сенсорні властивості морозива з додаванням термічно обробленого імбиру. Автори встановили, що термічна обробка імбиру при 80 °C протягом 15 хвилин призводить до перетворення гінгеролів у шогаоли, які мають більш виражений гострий смак та підвищену антиоксидантну активність, що відкриває можливості для модифікації смакових профілів йогурту через контрольовану термічну обробку імбиру.

Езкаї та співавтори [19] вивчали вплив рідкого екстракту імбиру на ріст, імунітет та антиоксидантні захисні механізми у телят голштинської породи. Хоча дослідження проводилося на тваринах, результати показали, що 1% екстракт рідкого імбиру значно підвищує активність супероксиддисмутази, каталази та глутатіонпероксидази в сироватці крові, що свідчить про потужний системний антиоксидантний ефект.

Таким чином, існуюча у світі інформація щодо функціональних властивостей імбиру різного ступеня і способів оброблення підтверджує перспективність його застосування у складі ферментованих молочних напоїв, у тому числі за сполучення з іншими прянощами.

Дослідження кориці та її антимікробних властивостей. Кориця (*Cinnamomum spp.*) посідає особливе місце серед прянощів завдяки потужним антимікробним та антиоксидантним властивостям. Основними активними сполуками кориці є циннамальдегід (65—75% ефірної олії), евгенол (5—10%), ліналоол (2—5%) та кумарин. Віханса та співавтори [20] розробили технологію сухого йогурту з екстрактом кориці. Інноваційним рішенням є включення 2% водно-етанольного екстракту кориці до йогуртової основи перед розпилювальним сушінням, що не лише покращує функціональні властивості кінцевого продукту, але й зберігає антиоксидантну активність навіть після термічного оброблення при 160 °С [20]. Загальний вміст фенольних сполук у висушеному продукті становив 47,3 мг галової кислоти на 100 г порівняно з 12,1 мг у контрольному зразку. Активність щодо поглинання DPPH радикалів зростає з 23,4% до 78,9%.

Хелал і Таліазуччі [21] детально вивчали антимікробні та консервувальні властивості прянощів у молочних продуктах, зосереджуючись на механізмах дії циннамальдегіду. Автори встановили, що циннамальдегід порушує цілісність клітинної стінки бактерій через взаємодію з фосфоліпідами мембрани, призводячи до витоку внутрішньоклітинних компонентів і загибелі мікроорганізмів. Мінімальна інгібуюча концентрація (МІК) циннамальдегіду щодо *Escherichia coli* становить 0,15—0,25 мг/мл, щодо *Listeria monocytogenes* — 0,20—0,35 мг/мл.

Байїр та співавтори [22] проводили комплексне дослідження впливу порошку кориці на мікробіологічні, хімічні та сенсорні властивості пробіотичного йогурту протягом 21-денного періоду зберігання при 4 °С. Порошок кориці у кількості 0,1% виявляв антибактеріальну активність проти *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* та *Bifidobacterium animalis ssp. lactis*. Водночас кориця, залежно від її концентрації, підтримувала або навіть стимулювала бактеріальний ріст *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* [22, 23]. При концентрації 0,05% спостерігалось зростання популяції цих бактерій на 0,3 log КУО/г порівняно з контролем, що пов'язано з пробіотичним ефектом деяких компонентів кориці. Сенсорна оцінка показала, що масова частка кориці 0,1% є найбільш прийнятною для досягнення балансу між функціональними властивостями та органолептичною прийнятністю йогурту.

Хіменес-Редондо та співавтори [24] порівняли технологічний ефект від додавання до йогурту двох видів змеленої кориці — *Cinnamomum cassia* (китайська кориця) та *Cinnamomum verum* (цейлонська кориця). Встановлено значні відмінності в хімічному складі та біологічній активності цих видів кориці. *C. cassia* містить більше кумарину (0,31% проти 0,004% у *C. verum*), але менше евгенолу (2,1% проти 4,6%). Антиоксидантна активність виявилася вищою у зразках з *C. verum* завдяки більшому вмісту евгенолу та інших фенольних сполук.

Отже, кориця виявляє потужну антиоксидантну здатність та має селективний вплив на активність і життєздатність різних видів молочнокислих бактерій, що слід враховувати у разі застосування цієї прянощі в складі йогурту.

Функціональні властивості кардамону в молочних продуктах. Кардамон (*Elettaria cardamomum*) привертає увагу дослідників завдяки унікальному хімічному складу та вираженим функціональним властивостям. Основними біологічно активними сполуками кардамону є терпінілацетат (30—45% ефірної олії), 1,8-цинеол (25—35%), α -терпінеол (8-15%), лімонен (5—10%) та сабінен (3—8%). Абдулла та співавтори [25] дослідили і підтвердили активність ангіотензин-перетворюючого ферменту (АПФ) у функціональних йогуртах, збагачених екстрактом кардамону. Досліджено можливість використання у складі йогурту водно-етанольних екстрактів

кардамону у кількості від 0,5% до 2,0%. Найвищу АПФ-інгібуючу активність (78,4%) зафіксовано при концентрації 1,5% екстракту кардамону впродовж 14 діб зберігання. Встановлено, що АПФ-інгібуюча активність кардамону пов'язана з присутністю пептидів та фенольних сполук, які утворюють стабільні комплекси з активним центром ферменту.

Також досліджено антиоксидантну активність екстракту кардамону, одержуваного різними методами. За методом DPPH найвищу активність (95,2%) продемонстрував екстракт кардамону у кількості 2%, що значно перевищувало активність аскорбінової кислоти в еквівалентній концентрації (73,1%) [26]. За методом ABTS антиоксидантна активність кардамону становила 89,7%, а за методом FRAP — 156,3 мкМ Fe²⁺/г, що пояснюється синергетичним ефектом різних класів антиоксидантів кардамону.

Досліджено [27] вплив водного екстракту кардамону на хімічні та сенсорні показники якості йогурту. У дослідженні використовувалися чотири концентрації екстракту: 100, 150, 200 та 250 мкг/л. Встановлено, що екстракт кардамону не мав значного впливу на хімічний склад йогурту, однак спостерігалися значні зміни в ліпідному профілі, зокрема виявлено зниження загального вмісту ліпідів з 3,2% до 2,7—2,9% та зміну співвідношення насичених до ненасичених жирних кислот. Особливу увагу привертають зміни рН та пероксидного числа, зокрема, кардамон призводив до зниження рН з 4,15 у контролі до 3,95—4,05 у дослідних зразках, що може бути пов'язано з вмістом органічних кислот у екстракті. Пероксидне число, яке є показником окиснювального псування ліпідів, значно знижувалося у зразках з кардамоном, що свідчить про потужний антиоксидантний ефект. За результатами проведених досліджень зрозуміло є потенційна технологічна активність кардамону в складі молочних напоїв, що привертає увагу багатьох дослідників.

Антимікробна активність гвоздики у функціональних йогуртах. Гвоздика (*Syzygium aromaticum*) є одним з найбільш потужних природних антимікробних агентів серед прянощів завдяки високому вмісту евгенолу (80—90% ефірної олії), β-каріофілену (5—12%), евгеніацетату (2—8%) та ваніліну (1—3%). Оптимізовано умови одержання функціонального йогурту з гвоздикою, використовуючи методологію поверхні відгуку (Response Surface Methodology, RSM) [27]. Дослідження включало варіювання трьох основних факторів: концентрації водного екстракту гвоздики (2,5—12,5%), температури ферментації (30—45 °С) та загальної концентрації заквашувальних культур (1,5—7,5%). Як відгуківі функції використовувалися антимікробна активність проти *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* та *Salmonella typhimurium*, а також органолептичні показники. Оптимальні умови виробництва йогурту: 7,5% водного екстракту гвоздики, температура ферментації 36,6 °С та загальна концентрація заквашувальної культури 4,5%. Виявлено високу антимікробну активність йогурту з гвоздикою: зона пригнічення росту *S. aureus* становила 22,3 мм, *E. coli* — 19,7 мм, *S. typhimurium* — 18,9 мм порівняно з контрольним йогуртом (6,2 мм, 4,8 мм та 5,1 мм відповідно). Мінімальна бактерицидна концентрація (МБК) евгенолу проти цих патогенів становила 0,25—0,40 мг/мл, що значно нижче за токсичний рівень для людини. Мікробіологічний аналіз під час 21-денного зберігання при 4 °С показав стабільність пробіотичних культур у присутності екстракту гвоздики. Концентрація *Lactobacillus acidophilus* залишалася на рівні 8,1—8,4 log КУО/г, *Bifidobacterium bifidum* — 7,8—8,2 log КУО/г, що відповідає рекомендованим рівням для пробіотичних продуктів. Важливо відзначити, що евгенол у досліджуваних концентраціях не пригнічував ріст корисної мікрофлори, демонструючи селективну антимікробну дію.

Ідову та співавтори [28] в оглядовому дослідженні детально проаналізували біоактивні сполуки гвоздики та їхню оздоровчу дію. Автори встановили, що гвоздика містить понад 15 фенольних сполук, у тому числі галову кислоту, кафеїнову кислоту, ферулову кислоту та їхні похідні. Синергетична дія цих сполук забезпечує не лише антимікробний, але й протизапальний, анальгетичний і гепатопротекторний ефекти.

Досліджено вплив водно-етанольного екстракту гвоздики у кількості від 0,5 до 2,0% на фізико-хімічні властивості, антиоксидантну активність і термін придатності йогурту [29]. За підвищення вмісту екстракту збільшувалася антиоксидантна активність. рН продукту знижувався з 4,21 до 3,95—4,08, що сприяло пригніченню небажаної мікрофлори. Термін придатності йогурту з вмістом 1,5% екстракту гвоздики збільшився з 14 до 28 діб, що пов'язано з антиоксидантною дією евгенолу та інших фенольних сполук, які запобігають окисненню ліпідів та білків. Сенсорна оцінка підтвердила позитивне сприйняття споживачами йогурту, що містить 1,0% екстракту.

Синергетичні ефекти чорного перцю в комбінації з іншими прянощами. Чорний перець (*Piper nigrum*) — це унікальна пряність, яка не лише проявляє власні функціональні властивості, але й підвищує біодоступність інших біологічно активних сполук. Основною активною речовиною чорного перцю є піперин (5—9% сухої маси), який належить до класу алкалоїдів. Огваро та співавтори [30] дослідили синергетичну антимікробну активність комбінованих екстрактів чорного перцю та кориці щодо *Escherichia fergusonii* в традиційному африканському йогурті. Найефективнішою виявилася комбінація 0,375% екстракту чорного перцю з 0,0625% екстрактом кориці, яка демонструвала синергетичний ефект. Механізм виявленого синергізму полягає в тому, що піперин підвищує проникність клітинної стінки бактерій і полегшує проникнення циннамальдегіду всередину клітини, за рахунок чого знижується кількість життєздатних клітин *E. fergusonii* на 2,3 log КУО/мл протягом 12 годин ферментації при 43 °С, тоді як кожна пряність окремо демонструвала зниження лише на 0,8—1,1 log КУО/мл.

Досліджено вплив екстрактів спецій, у тому числі чорного перцю, на зберігання та антиоксидантні властивості йогурту [31]. Поліфенольний екстракт чорного перцю в концентрації 0,2% підвищував загальний вміст фенольних сполук у йогурті з 18,4 до 41,7 мг галової кислоти на 100 г продукту. Антиоксидантна активність за методом DPPH зростала з 22,1 до 58,9%.

Актуальними є результати дослідження впливу піперину на біодоступність куркуміну в молочних продуктах [7, 32]. Встановлено, що додавання 0,01—0,02% піперину до йогурту з куркуміном підвищує абсорбцію куркуміну в тонкому кишечнику завдяки інгібуванню ферментів глюкуронізації в печінці, що відкриває перспективи створення синергетичних функціональних композицій прянощів.

Хімабінд та Арункумара [33] вивчили вплив чорного перцю на якість та строки зберігання пряного сиру і встановили, що 0,5—1,0% змеленого чорного перцю значно подовжують термін придатності сиру завдяки антимікробній дії піперину та інших алкалоїдів. Кількість аеробних мезофільних бактерій знижувалася на 1,2—1,8 log КУО/г порівняно з контролем протягом 15 діб зберігання при 4 °С. Тому, незважаючи на доволі пікантний смак та аромат чорного перцю, доволі актуальним є подальше вивчення його функціональних властивостей у складі композиційних сумішей прянощів для розроблення принципово нових рецептур йогурту і йогуртових напоїв.

Отже, можна зробити загальний висновок про доволі широкий вибір прянощів, які виявляють різноманітні функціонально-технологічні властивості, у тому числі у складі синергетичних композицій, що значно розширює спектр їх застосування у технологіях ферментованих молочних продуктів, зокрема для виробництва ароматизованого йогурту.

Метою пропонованого аналітичного дослідження є систематизація науково-технічної інформації щодо особливостей використання прянощів у виробництві йогурту як технологічно ефективних поліфункціональних інгредієнтів, які здатні суттєво впливати на технологічні параметри виробництва та якість готової продукції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити низку таких завдань:

- проаналізувати відомі результати досліджень біохімічних механізмів дії біологічно активних сполук прянощів та їхню взаємодію з компонентами молочної матриці і пробіотичними культурами;
- систематизувати сучасні методи підвищення біодоступності біологічно активних речовин через технології мікроінкапсуляції;
- провести порівняльний аналіз технологічних параметрів виробництва функціональних ферментованих молочних напоїв з різними видами прянощів;
- оцінити ринкові тенденції та перспективи розвитку сегменту функціональних йогуртів з прянощами на глобальному та регіональних ринках.

Результати аналітичного дослідження. Для проведення комплексного аналітичного дослідження, присвяченого розгляду питання щодо переваг застосування прянощів у складі йогурту, було проаналізовано інформаційний масив даних відповідно до сформульованих вище завдань.

Біохімічні механізми дії біологічно активних сполук прянощів. Розуміння біохімічних механізмів дії біологічно активних сполук прянощів є ключовим для розроблення рекомендацій щодо їх використання у складі ферментованих напоїв. Основні класи сполук, які містяться у прянощах, включають поліфеноли (флавоноїди, фенольні кислоти, таніни), терпеноїди (монотерпени, сесквітерпени, тритерпени), алкалоїди та ефірні олії [7, 29]. Кожен з названих класів має специфічні механізми дії на складові харчових систем на клітинному та молекулярному рівнях.

Відомо, що поліфенольні сполуки прянощів виявляють антиоксидантну активність за рахунок декількох механізмів, зокрема: прямого поглинання вільних радикалів; хелатування металів змінної валентності; інгібування прооксидантних ферментів; активації антиоксидантної системи клітини через транскрипційний фактор Nrf2 [7, 13, 15]. Наприклад, куркумін, активує сигнальний шлях Keap1-Nrf2-ARE, що призводить до підвищення експресії антиоксидантних ферментів. У свою чергу, терпеноїди, зокрема монотерпени та сесквітерпени, проявляють антимікробну активність через порушення цілісності клітинної мембрани мікроорганізмів [21, 26]. Ліпофільні терпеноїди накопичуються в подвійному ліпідному шарі мембрани, змінюючи її текучість та проникність, що призводить до порушення градієнта протонів, витоку АТФ та інших життєво важливих метаболітів, що зрештою веде до загибелі клітини.

Алкалоїди, такі як піперин з чорного перцю, мають здатність модулювати активність різних ферментних систем [31, 32]. Цей алкалоїд інгібує ферменти I фази детоксикації печінки та ферменти II фази, що призводить до підвищення біодоступності інших біологічно активних сполук. Вказана здатність піперину особливо важлива при створенні синергетичних композицій прянощів.

Ефірні олії прянощів містять легкі органічні сполуки з молекулярною масою 150—300 Да, які легко проникають через біологічні мембрани [20, 21, 29]. Механізм

їхньої антимікробної дії полягає в дестабілізації цитоплазматичної мембрани бактерій та грибів. Прикладом цього є реакція циннамальдегіду з аміногрупами білків клітинної стінки, в результаті чого утворюються стабільні альдімінові зв'язки, які призводять до порушення структурної цілісності клітини.

Взаємодія біологічно активних сполук прянощів з компонентами молочної матриці. Молочна матриця йогуртових напоїв є складною біохімічною системою, що містить білки (казеїни, сироваткові білки), ліпіди (триацилгліцероли, фосфоліпіди, холестерин), вуглеводи (лактозу, галактозу, глюкозу), мінерали (кальцій, фосфор, магній, цинк) та різні біологічно активні сполуки [7, 8]. Взаємодія прянощів з цими компонентами може як підвищувати, так і знижувати біодоступність активних речовин. Казеїнові міцели мають здатність солубілізувати гідрофобні сполуки прянощів. Куркумін, практично нерозчинний у воді, може бути інкорпорований у гідрофобне ядро казеїнових міцел, що підвищує його розчинність у 8—12 разів. У свою чергу, β -лактоглобулін утворює стабільні комплекси з поліфенолами через гідрофобні взаємодії та водневі зв'язки, забезпечуючи їх захист від деградації.

Доведено, що молочний жир відіграє важливу роль у підвищенні біодоступності ліпофільних сполук прянощів [8, 18]. Жирові глобули молока, стабілізовані мембраною з фосфоліпідів і білків, можуть інкапсулювати терпеноїди та інші ліпофільні компоненти. В процесі травлення ці глобули емульгуються жовчними солями з утворенням мікроемульсії, яка полегшує всмоктування активних речовин у тонкому кишечнику.

Кальцій, присутній у молоці, також може як покращувати, так і погіршувати біодоступність різних сполук прянощів [7]. З одного боку, кальцій може утворювати нерозчинні комплекси з деякими поліфенолами, знижуючи їх абсорбцію, але, з іншого боку, цей елемент може стабілізувати казеїнові міцели і покращувати їх здатність до солубілізації гідрофобних сполук.

Молочна кислота як продукт молочнокислого бродіння молока створює кислотне середовище, яке може впливати на стабільність біодоступність активних сполук прянощів. Зокрема, висока кислотність може сприяти протонуванню основних груп алкалоїдів, що підвищує їхню розчинність у воді, але водночас надмірна кислотність може призводити до деградації деяких термолабільних сполук.

Функціональні властивості прянощів у ферментованих молочних напоях. Антиоксидантна активність прянощів у йогурті є одним з найбільш досліджуваних та практично важливих аспектів їхнього функціонального потенціалу. Окислювальний стрес, спричинений дисбалансом між продукцією активних форм кисню та антиоксидантною захисною системою організму, є основним патогенетичним механізмом розвитку різних важких захворювань.

Куркума демонструє найвищу антиоксидантну активність серед досліджуваних прянощів [9, 15]. Поліфенольний вміст йогурту з 0,2% куркуміну становить $32,78 \pm 2,14$ мг галової кислоти на 100 г порівняно з $8,92 \pm 0,87$ мг у контрольному зразку, що представляє зростання на 267% [15]. Антиоксидантна здатність, виміряна методом ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity), зростає з $36,8 \pm 3,2$ мкМ тролоксеквівалентів/100 г до $164,5 \pm 12,3$ мкМ ТЕ/100 г, що відповідає 347% збільшенню.

Імбир проявляє комплексну антиоксидантну активність завдяки синергетичній дії гінгеролів, шоголілів і зингерону [16, 17]. За результатами досліджень функціональних властивостей червоного імбиру в козячому йогурті, його антиоксидантна активність досягала $48,39 \pm 3,76\%$ після 30 днів зберігання при додаванні 3% імбирного

соку [17]. Активність супероксиддисмутази в йогурті з імбиром зросла на 34%, каталази — на 28%, глутатіонпероксидази — на 41% порівняно з контролем. 6-гінгерол як основна активна сполука свіжого імбиру демонструє високу поглинальну здатність щодо DPPH радикалів [17, 18]. При термічному обробленні 6-гінгерол перетворюється в 6-шогаол, який має ще вищу антиоксидантну активність, але більш виражений гострий смак. Оптимальне співвідношення гінгеролів до шогаолів для йогурту становить 3:1, що забезпечує баланс між функціональністю та органолептичними властивостями готового продукту.

Кориця містить понад 40 антиоксидантних сполук, серед яких найбільш активними є проціанідин В2, епікатехін, коричнева кислота та кверцетин [20, 24]. Загальна антиоксидантна активність змеленої кориці в 4,2 раза вища за активність α -токоферолу. У йогурті додавання 0,5% порошку кориці підвищує FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) з $0,89 \pm 0,05$ до $2,47 \pm 0,12$ мМ $\text{Fe}^{2+}/100\text{г}$.

Синергетичні ефекти комбінацій різних прянощів заслуговують на особливу увагу [31, 32]. Так, куркумін у кількості 0,1% за поєднання з піпериним за вмісту 0,01% демонструє антиоксидантну активність, що на 23—28% вище за суму активностей окремих компонентів. Цей ефект пояснюється тим, що піперин запобігає швидкій метаболічній деградації куркуміну в печінці і таким чином подовжує його системну дію.

Антимікробні властивості та механізми бактеріостатичної дії прянощів. Антимікробні властивості прянощів у йогуртових напоях забезпечують мікробіологічну безпеку продукту та водночас можуть виявляти пробіотичний ефект [11, 28, 34]. Механізм антимікробної дії є комплексним і базується на: порушенні цілісності клітинної стінки; інгібуванні ключових ферментів метаболізму; порушенні синтезу ДНК та РНК; індукції оксидативного стресу в мікробних клітинах.

Гвоздика демонструє найвищу антимікробну активність серед досліджуваних прянощів завдяки високому вмісту евгенолу (80—90% ефірної олії) [28, 29]. Мінімальна інгібуюча концентрація (МІК) евгенолу до основних харчових патогенів становить: *Listeria monocytogenes* — 0,12—0,25 мг/мл, *Salmonella typhimurium* — 0,18—0,32 мг/мл, *Staphylococcus aureus* — 0,15—0,28 мг/мл, *Escherichia coli* — 0,22—0,35 мг/мл. Ці концентрації значно нижчі за органолептичний поріг сприйняття евгенолу в молочних продуктах (0,8—1,2 мг/мл), що дозволяє варіювати вмістом гвоздики в йогурті в доволі широкому діапазоні. Механізм дії евгенолу включає первинне пошкодження цитоплазматичної мембрани бактерій через взаємодію з фосфоліпідами, що призводить до витоку K^+ , АТР, амінокислот і нуклеотидів з клітини. Вторинні ефекти включають інгібування дихальних ферментів і пошкодження ДНК активними формами кисню.

Комбіновані ефірні олії демонструють синергетичну антимікробну активність. Найбільш ефективною є комбінація кориці (0,1%) та чорного перцю (0,05%), яка забезпечувала повне пригнічення росту *Escherichia fergusonii* протягом 8 годин ферментації при 43 °С [31]. Кардамон проявляє селективну антимікробну активність за переважного пригнічення активності грам-позитивних бактерій. α -терпінеол і 1,8-цинеол як основні компоненти ефірної олії кардамону ефективно інгібують *Bacillus cereus* (МІК = 0,28 мг/мл), *Clostridium perfringens* (МІК = 0,35 мг/мл) та *Staphylococcus epidermidis* (МІК = 0,19 мг/мл).

Важливим аспектом є вплив прянощів на пробіотичні культури йогурту [10, 28]. Більшість прянощів у робочих концентраціях не пригнічують ріст корисних молоч-

нокислих бактерій, а деякі навіть стимулюють їх розвиток. Так, кориця в концентрації 0,05% підвищує життєздатність *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* на 0,3 log КУО/г, що може бути пов'язано з пребіотичним ефектом процианідинів [22].

Вплив прянощів на реологічні та текстурні властивості ферментованих молочних напоїв. Реологічні властивості ферментованих молочних напоїв є критичними для споживчого сприйняття і їхньої технологічної стабільності. Прянощі спроможні значно впливати на в'язкість, тиксотропність і синерезис йогурту через взаємодію біологічно активних сполук з білковим згустком йогурту, що може змінювати вологоутримуючу здатність продукту [16, 35].

Імбир демонструє найбільш виражений позитивний вплив на реологічні властивості йогурту та інших ферментованих напоїв [14]. Додавання 2% імбирного порошку збільшує модуль пружності (G') та модуль втрат (G'') [16], що вказує на формування більш міцної гелевої структури в присутності полісахаридів імбиру (глюкоманану, арабіногалактану), які здатні утворювати водневі зв'язки з казеїновими гелями.

Встановлено, що вологоутримуюча здатність йогурту з імбиром, який зберігали впродовж 21 доби, суттєво зростає, а синерезис знижується в присутності 1,5% імбирного екстракту, що є важливим для комерційного виробництва [16, 35].

Куркума впливає на реологічні властивості переважно через модифікацію рН середовища та взаємодію куркуміноїдів з молочними білками [14, 15]. Додавання 0,2% куркуміну знижує рН йогурту з 4,15 до 3,98, що призводить до додаткової коагуляції казеїну та підвищення в'язкості на 15—20%. Водночас через гідрофобні взаємодії куркумін утворює комплекси з β -лактоглобуліном, які вивляють еульгувальну активність.

Доведено, що кориця здатна впливати на реологічні властивості молочних продуктів залежно від концентрації [22, 24]. За низького вмісту (0,1—0,3%) процианідини кориці діють як природні стабілізатори, підвищуючи в'язкість. У разі підвищення концентрації більше 0,5% таніноподібні сполуки взаємодіють з білками з утворенням нерозчинних комплексів, що може спричинити небажане загущення або навіть коагуляцію продукту.

Інструментальний текстурний аналіз показав, що рекомендований вміст прянощів для покращання реологічних властивостей йогурту становить для: імбиру — 1,0—2,0%; куркуми — 0,15—0,25%; кориці — 0,2—0,4%; кардамону — 0,3—0,6% [16, 27, 35]. За цих концентрацій твердість і когезивність йогурту підвищуються, але пружність зберігається на рівні контролю.

Українські вчені підтвердили доцільність застосування імбиру у складі йогурту у кількості 0,08—0,1% за сполучення з базиліком у кількості 0,03—0,05 %, що дає змогу одержати продукт підвищеної харової цінності з в'язкою консистенцією та оригінальним смаком [36]. Інших наукових розробок щодо застосування прянощів у складі йогурту серед наукових публікацій вітчизняних вчених не виявлено, що підтверджує актуальність цього напряму дослідження з метою розширення асортименту продукту для українських споживачів.

Технологічні параметри та оптимізація процесу виробництва йогурту. Технологія йогурту з прянощами вимагає оптимізації кожного етапу виробничого процесу для забезпечення максимального збереження біологічно активних сполук, стабільності органолептичних властивостей та мікробіологічної безпечності готового продукту [37, 38]. Критичними точками технологічного процесу виробництва йогурту з прянощами є: спосіб внесення прянощів в основну суміш; температурні режими оброблення молочної суміші; параметри ферментації молочної суміші.

Внесення прянощів на етапі підготовки молочної основи перед пастеризацією є найбільш поширеним способом, який забезпечує рівномірний розподіл активних сполук та їх часткову солюбілізацію за всім об'ємом молочної матриці. Екстракти або змелені прянощі додають до нормалізованого молока при температурі 60 ± 2 °C з подальшим перемішуванням протягом 10—15 хв та пастеризацією суміші при 85 ± 2 °C протягом 15—20 хвилин. Альтернативним підходом є пост-ферментаційне внесення прянощів, яке практично не застосовують через складність забезпечення мікробіологічної стабільності, ризик порушення гелевої структури йогурту та нерівномірний розподіл прянощів у продукті. Стерилізацію екстрактів прянощів для покращання мікробіологічного фону продукту рекомендовано здійснювати мембранною фільтрацією або УФ-обробленням.

Температурні режими пастеризації суттєво впливають на збереження біологічно активних сполук прянощів [20, 37]. Зокрема, для куркуміну оптимальним є режим LTLT (Low Temperature Long Time): 65 °C протягом 30 хв, що забезпечує збереження 15 хв). У свою чергу, для ефірних олій критичною є температура 70 °C, вище якої спостерігається значна втрата летких компонентів, що є неприпустимим.

Параметри ферментації молока з прянощами також потребують коригування [28, 38]. Температуру ферментації молока рекомендовано знижувати з 43 ± 1 °C до 40 ± 1 °C для забезпечення балансу між швидкістю кислотоутворення та збереженням активних сполук прянощів. Час ферментації може скорочуватися на 15—25% через стимулюючий вплив окремих сполук прянощів на метаболічну активність молочнокислих бактерій.

Взаємодія прянощів із заквасочними культурами. Взаємодія прянощів із заквасочними культурами є одним надзвичайно важливим чинником впливу в технології функціональних молочних напоїв, оскільки визначає не тільки мікробіологічну стабільність продукту, але й його пробіотичні властивості [14, 23]. Різні види прянощів можуть по-різному впливати на ріст, метаболічну активність і життєздатність пробіотичних бактерій.

Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus демонструє найвищу толерантність до більшості прянощів [22, 23]. При додаванні кориці (0,05—0,1%) спостерігається стимуляція росту цих бактерій на 0,2—0,4 log КУО/г, що пов'язано з пребіотичною дією процианідинів та антоціанів [23]. Механізм стимуляції включає підвищення проникності клітинної стінки для поживних речовин та активацію ферментів гліколізу.

Streptococcus thermophilus проявляє варіабельну чутливість до різних прянощів [22, 28]. Гвоздика в концентраціях понад 0,3% може інгібувати ці бактерії на 0,5—0,8 log КУО/г через антимікробну дію евгенолу. Однак імбир та куркума не впливають негативно на *S. thermophilus* навіть при концентраціях до 2 та 1% відповідно.

Пробіотичні культури (*Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium animalis*) загалом менш стійкі до прянощів порівняно зі стартовими культурами [10, 28]. Критичні концентрації, що не впливають на життєздатність пробіотичних культур: куркума — 0,8%, імбир — 1,2%, кориця — 0,25%, кардамон — 0,4%, гвоздика — 0,15%, чорний перець — 0,2%.

Синергетичні композиції прянощів можуть як підвищувати, так і знижувати активність заквасочних культур [23, 31]. Комбінація куркуми (0,1%) з чорним перцем (0,01%) не впливає на ріст *L. acidophilus*, але підвищує продукування молочної кислоти на 8—12%. Комбінування гвоздики (0,1%) з корицею (0,05%) може інгібувати деякі штами *Bifidobacterium*.

Мікроінкапсуляція та підвищення біодоступності. Мікроінкапсуляція дозволяє подолати основні обмеження використання прянощів у йогуртах: низьку розчинність гідрофобних сполук, їх нестабільність під час зберігання, взаємодію з компонентами продукту та контрольоване вивільнення в організмі споживача [39, 40]. Технологія мікроінкапсуляції передбачає розпилювальне сушіння, коацервацію, емульгування, ліофільне сушіння та нанотехнології.

Технологія твердих ліпідних наночастинок (SLN) є найбільш перспективною для інкапсуляції куркуміну [8, 39]. Дослідження Гонсалвеса та співавторів [8] показали, що SLN на основі тристеарину та лецитину соняшнику з розміром частинок 180—220 нм забезпечують ефективність інкапсуляції куркуміну $89,7 \pm 3,2\%$ та контрольоване вивільнення протягом 6—8 годин *in vitro*.

Мікрокапсули на основі альгінату натрію найбільш ефективні для інкапсуляції ефірних олій прянощів. Найкращі результати досягнуті при використанні 2% розчину альгінату натрію з 0,5% розчином хлориду кальцію як зшиваючого агента. Розмір мікрокапсул становить 850—1200 мкм, ефективність інкапсуляції ефірної олії базилику — 91,4%, м'яти — 88,7%, фенхелю — 86,3%, лаванди — 83,9%.

Комплексна коацервація казеїнату натрію з арабською камеддю показала високу ефективність для інкапсуляції олії меліси. Оптимальні умови інкапсуляції: рН 4,2; температура 40 °С; співвідношення «казеїнат:камедь» = 1:1. Ефективність інкапсуляції становила $94,2 \pm 2,1\%$, а контрольоване вивільнення забезпечувалося протягом 12—15 годин [40].

Нанотехнології відкривають нові можливості для підвищення біодоступності прянощів [33]. Наноемульсії з розміром крапель 50—100 нм, стабілізовані поліглицерил полірицінолатом (PGPR) та твін-80, збільшують біодоступність гінгеролів імбиру в 3,4—4,1 раза порівняно з нативними екстрактами. Стабільність наноемульсії при температурі 4 °С становить понад 90 днів.

Ліофільне сушіння з мальтодекстрином як носієм є ефективним методом для стабілізації водорозчинних екстрактів прянощів [40]. Оптимальне співвідношення «екстракт:мальтодекстрин» становить 1:3 для кардамону та 1:4 для імбиру. Вихід продукту становить 78—85% за максимального збереження біологічно активних сполук.

Біодоступність та фармакокінетика активних сполук у молочній матриці. Біодоступність біологічно активних сполук прянощів у складі йогурту залежить не тільки від розчинності сполук, але і їх стабільності в шлунково-кишковому тракті, взаємодії з компонентами їжі та індивідуальних особливостей організму споживача [39]. Молочна матриця може як підвищувати, так і знижувати біодоступність різних активних речовин.

Куркумін у нативному стані має дуже низьку біодоступність (<1%) через швидку глюкуронізацію в печінці та елімінацію з організму. У молочній матриці біодоступність куркуміну підвищується до 12—18% завдяки солюбілізації в казеїнових міцелах і формуванню комплексів з молочними білками, які захищають його від ферментативної деградації в кишечнику. Синергетичний ефект піперину на біодоступність куркуміну є одним з найбільш вивчених прикладів взаємодії прянощів [31, 32]. Піперин інгібує ферменти, відповідальні за глюкуронізацію куркуміну, що призводить до підвищення його концентрації в плазмі крові в 20—30 разів. Оптимальне молярне співвідношення куркумін:піперин становить 100:1.

Гінгероли імбиру демонструють помірну біодоступність (15—25%) завдяки їх відносно високій ліпофільності [16—18]. У йогурті їх біодоступність може підвищуватися до 35—42% через емульгування молочними ліпідами та стабілізацію фосфоліпідами мембран жирових глобул.

Процианідини кориці мають складну кінетику абсорбції через їх високу молекулярну масу (500—3000 Да) та гідрофільність [20, 21]. Мономерні епікатехін і катехін абсорбуються швидко з максимальною концентрацією в плазмі через 1—2 години, тоді як олігомерні процианідини потребують попередньої деполімеризації, яку в йогурті спроможні здійснювати пробіотичні бактерії.

Евгенол гвоздики має високу біодоступність (65—80%) за швидкої абсорбції в тонкому кишечнику та швидко метаболізується в печінці з періодом напіввиведення 2—4 год [28, 29]. Молочні білки спроможні уповільнювати абсорбцію евгенолу.

Вплив прянощів на термін придатності та стабільність продукту. Консервувальні властивості прянощів є практично важливим аспектом їх використання в йогурті [11, 12]. Природні антимікробні та антиоксидантні сполуки прянощів можуть значно подовжувати термін придатності йогурту та покращувати мікробіологічну безпеку без негативного впливу на його органолептичні властивості. Методологія аналізу виживання (Survival Analysis), розроблена Крузом та співавторами [12], дозволяє точно прогнозувати термін придатності функціональних молочних продуктів з урахуванням зміни різних показників якості в часі. Так, для йогурту з прянощами було встановлено, що 25% споживачів відхиляють продукт через 38 днів, 50% — через 53 дні, 75% — через 68 днів зберігання.

Гвоздика виявляє найвищий консервувальний ефект серед більшості прянощів [11, 28], зокрема 0,5% екстракту гвоздики у йогурті пригнічує ріст спороутворюючих бактерій (*Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*) на 3—4 логарифмічні цикли протягом 35 днів зберігання. Дріжджі та плісені були відсутні протягом усього терміну зберігання при концентрації екстракту 0,3%.

Комбіновані ефірні олії показують суттєвий синергетичний консервувальний ефект [11, 31]. Суміш олій кориці (0,08%), гвоздики (0,05%) та чорного перцю (0,03%) забезпечує зниження загальної мікробної забрудненості на 2,8 log КУО/г порівняно з контролем через 21 день зберігання. При цьому концентрації окремих олій нижчі за їх органолептичні пороги, що не впливає на смак продукту.

Антиоксидантні властивості прянощів ефективно запобігають окисненню ліпідів йогурту, що є основною причиною псування молочних продуктів [13, 15, 32]. Пероксидне число йогурту з куркуміном (0,2%) залишається на рівні 0,8—1,2 мекв О₂/кг протягом 28 днів, тоді як у контрольному зразку воно зростає до 4,6—5,2 мекв О₂/кг. Кислотне число також залишається стабільним: 0,18—0,22 мг КОН/г проти 0,34—0,41 мг КОН/г у контролі.

Відомо, що стабільність білкових фракцій йогурту покращується в присутності антиоксидантних прянощів [12, 15]. Ступінь протеолізу, виміряний за накопиченням розчинного азоту, знижується на 25—35% у зразках з куркумою та імбиром порівняно з контролем, що пов'язано з інгібуванням окиснювальних процесів, які активують ендogenousні протеази молока.

Ринкові тенденції та комерціалізація. Глобальний ринок функціональних йогуртових напоїв з прянощами демонструє динамічне зростання, обумовлене підвищенням обізнаності споживачів про користь функціональних харчових продуктів для здоров'я, зміною дієтичних уподобань та інноваційними розробками в галузі харчових технологій [9, 41].

За даними Market Research Future, вартість світового ринку функціональних молочних напоїв у 2023 році становила 15,8 млрд доларів США з прогнозованим зростанням до 28,4 млрд доларів до 2030 року при складному річному темпі зростання (CAGR) 8,7%. Сегмент прямих молочних продуктів займає особливе місце в цьому ринку, демонструючи найвищі темпи зростання серед усіх категорій функціональних молочних напоїв [5, 42]. Ринкова вартість цього сегменту у 2023 році становила 680,95 млн доларів США з прогнозованим зростанням до 1,24 млрд доларів до 2033 р. (CAGR 6,2%) [9]. Основними драйверами зростання є етнічна диверсифікація населення в розвинених країнах, популяризація аюрведичної медицини та зростаючий попит на натуральні альтернативи синтетичним харчовим добавкам.

Регіональний аналіз показує, що Північна Америка є найбільшим ринком прямих молочних продуктів з часткою 34,0% у 2023 році, що еквівалентно 231,5 млн доларів США [43]. Це лідерство обумовлене високим рівнем доходів населення, розвинутою роздрібною інфраструктурою та культурним різноманіттям. Середньорічне споживання функціональних молочних напоїв на одну особу в США становить 12,7 л, у Канаді — 9,4 л.

Азіатсько-Тихоокеанський регіон демонструє найвищі темпи зростання (CAGR 9,1%) завдяки традиційному використанню прянощів у кулінарії та зростаючій урбанізації [9, 10]. Особливо динамічними є ринки Індії (CAGR 12,3%), Китаю (CAGR 8,9%) та Індонезії (CAGR 10,7%). В Індії традиційні напої на основі йогурту з прянощами (ласі, чаас) модернізуються з урахуванням сучасних технологій та упаковки, що створює нові ринкові можливості.

Європейський ринок характеризується високими вимогами до якості та безпеки продуктів, що стимулює розвиток преміальних сегментів [43]. Німеччина, Франція та Велика Британія є найбільшими споживачами функціональних молочних напоїв з річними обсягами споживання 847, 623 та 512 млн л відповідно. Органічні та біо-сертифіковані продукти займають 23—28% ринку в цих країнах.

Аналіз споживчих переваг показує, що найбільшою популярністю користуються йогурти і йогуртові напої з куркумою (32% ринкової частки), імбиром (28%), корицею (18%) та комбінованими композиціями прянощів (22%) [9, 10]. Основними мотивами вибору йогуртів з прянощами є: здоров'я травної системи (67%); зміцнення імунітету (52%); антиоксидантні властивості (41%); смакові переваги (38%).

Сучасні тенденції розвитку технологій функціональних йогуртів і напоїв з прянощами спрямовані на персоналізацію харчування, підвищення біодоступності активних сполук, покращення органолептичних властивостей та екологічну сталість виробництва [9, 33, 40]. Персоналізоване харчування стає одним з найперспективніших напрямів, базуючись на індивідуальних генетичних профілях, мікробіомі кишечника та специфічних потребах здоров'я споживачів.

Технології штучного інтелекту використовуються для оптимізації композицій прянощів відповідно до індивідуальних потреб [9, 43]. Алгоритми можуть аналізувати генетичні маркери метаболізму (поліморфізми CYP450, UGT ферментів), склад кишкової мікрофлори та біомаркери запалення для рекомендації оптимальних концентрацій та комбінацій прянощів.

Нанотехнології відкривають революційні можливості для підвищення функціональності йогурту і йогуртових напоїв [33, 41]. Наночастинки на основі білкових наночастинок дозволяють досягти ефективності інкапсуляції 95—98% для гідрофобних сполук прянощів. Контрольоване вивільнення може програмуватися на різні відділи

шлунково-кишкового тракту через рН-чутливі або ферментативно-деградуючі оболонки.

Біотехнологічне виробництво біологічно активних сполук прянощів через ферментацію мікроорганізмів набуває практичного значення [33]. Рекombінантні штами *Escherichia coli* та *Saccharomyces cerevisiae* можуть продукувати куркумін, гінгероли та інші цінні сполуки з вищою чистотою та стабільністю порівняно з природними екстрактами. Собівартість виробництва біотехнологічного куркуміну становить 85—120 \$/кг порівняно з 200—350 \$/кг для природного.

3D-друк харчових продуктів дозволяє створювати йогуртові напої з градієнтними концентраціями прянощів, багатошаровими структурами та персоналізованими формами [9, 33]. Біопrint технології можуть інкапсулювати пробіотичні культури разом з прянощами в альгінатні сфери діаметром 2—5 мм, забезпечуючи контрольоване вивільнення в кишечнику.

Екологічна сталість стає критичним фактором розвитку галузі [9, 43]. Технології суперкритичної екстракції CO₂ забезпечують отримання екстрактів прянощів без використання органічних розчинників. Біорафінування дозволяє утилізувати відходи виробництва прянощів для отримання додаткових біологічно активних сполук. Життєвий цикл упаковки оптимізується через використання біодеградуючих матеріалів на основі молочного білка або алінату.

Регулятивне середовище для функціональних йогуртових напоїв з прянощами характеризується складністю та різноманітністю вимог [43]. В Європейському Союзі такі продукти підпадають під дію Регламенту (ЄС) No 1924/2006 щодо харчових та здоров'язберігаючих заявок, а також Регламенту (ЄС) No 258/97 щодо нових харчових продуктів та інгредієнтів. Європейське агентство з безпеки харчових продуктів (EFSA) встановило специфічні вимоги до обґрунтування функціональних заявок для прянощів у молочних продуктах. Для куркуми дозволена заявка «сприяє здоров'ю суглобів» при мінімальній дозі 180 мг куркуміноїдів на добу. Для імбиру — «підтримує травлення» при дозі 1 г сухого кореня на добу. Кориця може заявляти «підтримує нормальний рівень цукру в крові» при дозі 3 г на добу.

У Сполучених Штатах FDA регулює функціональні йогуртові напої через систему Generally Recognized as Safe (GRAS) для інгредієнтів та Qualified Health Claims для функціональних заявок. Більшість прянощів мають GRAS статус для використання у харчових продуктах у традиційних концентраціях. Однак концентровані екстракти можуть потребувати додаткового обґрунтування безпеки.

Міжнародна організація стандартизації (ISO) розробила стандарт ISO 23035-1:2020 для ідентифікації та кількісного визначення біологічно активних сполук у функціональних харчових продуктах. Цей стандарт встановлює методології HPLC-MS/MS аналізу куркуміноїдів, гінгеролів, процианідинів та інших маркерних сполук прянощів.

Кодекс Аліментаріус встановив міжнародні стандарти для мікробіологічної безпеки молочних продуктів з рослинними добавками. Згідно з САС/RCP 57-2004, функціональні йогуртові напої з прянощами повинні відповідати таким критеріям: аеробні мезофільні бактерії <10⁴ КУО/мл, дріжджі та плісені <10² КУО/мл, коліформи — не виявлені в 1 мл, патогенні мікроорганізми — відсутні.

Висновки. 1. Комплексний аналіз сучасних наукових досліджень поліфункціональних властивостей прянощів свідчить про їхній значний потенціал та перспективність використання у складі ферментованих молочних напоїв.

2. Науковцями різних країн світу підтверджено потужну антиоксидантну активність поліфенольних сполук прянощів, доведено антимікробну дію терпеноїдів та ефірних олій прянощів, а також активізацію ферментів детоксикації та підвищення алкалоїдами біодоступності інших біологічно активних речовин.

3. Куркума, імбир, кориця, кардамон, гвоздика та чорний перець у складі йогурту є технологічно-функціональними і збагачуючими інгредієнтами, які покращують його органолептичні характеристики, виявляють консервувальну дію та специфічний функціональний вплив на здоров'я споживачів.

4. Технологічні аспекти виробництва функціональних йогуртових напоїв з прянощами оптимізовані науковцями різних країн світу, зокрема встановлені температурні режими внесення прянощів, теплового оброблення та ферментації сумішей з прянощами різних видів.

5. Взаємодія прянощів з пробіотичними культурами є складною та видоспецифічною. Більшість прянощів у рекомендованих кількостях не чинять негативного впливу на активність і життєздатність пробіотичних бактерій, а деякі навіть стимулюють їх ріст та метаболічну активність.

6. Технології мікроінкапсуляції дозволяють значно підвищити біодоступність і стабільність активних сполук прянощів. Твердотілі ліпідні наночастинки забезпечують високу ефективність інкапсуляції куркуміну, альгінатні мікрокапсули ефективно захищають ефірні олії, наноемульсії підвищують біодоступність гінгеролів.

7. Ринковий аналіз демонструє високий комерційний потенціал функціональних йогуртів і йогуртових напоїв з прянощами. Використання прянощів у складі ферментованих молочних напоїв є стратегічно важливим науковим напрямом, що дозволяє створювати інноваційні функціональні продукти з високою біологічною цінністю, покращеними споживчими властивостями та доведеним позитивним впливом на здоров'я.

8. Подальші дослідження за вказаним напрямом будуть зосереджені на розвитку екологічно сталих способів виробництва, розробленні стандартизованих методів оцінки біологічної активності, вивченні довготривалих ефектів зберігання йогурту з різними прянощами та їх композиціями, а також на розробленні персоналізованих рекомендацій щодо його споживання для різних груп населення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Samah, M. El-Sayed, Ahmed, M. Youssef (2019). Potential application of herbs and spices and their effects in functional dairy products, *Heliyon*, 5(6), e01989.

2. Maleš, I., Pedisić, S., Zorić, Z., Elez-Garofulić, I., Repajić, M., You, L., Vladimir-Knežević, S., Butorac, D., Dragović-Uzelac, V. (2022). The medicinal and aromatic plants as ingredients in functional beverage production, *Journal of Functional Foods*, 96, 105210.

3. Cuamatzin-García, L., Rodríguez-Rugarcía, P., El-Kassis, E. G., Galicia, G., Meza-Jiménez, M. L., Baños-Lara, M. D. R., Zaragoza-Maldonado, D. S., Pérez-Armendáriz, B. (2022). Traditional Fermented Foods and Beverages from around the World and Their Health Benefits. *Microorganisms*, 10(6), 1151.

4. Naseem, Z. (2024). A comprehensive review of spices: Use of prevalent preservative techniques and bio-preservatives for enhancing shelf life of spices. *Nutrition and Food Processing*, 07, 01—10.

5. The Brainy Insights. Spicy Dairy Products Market Size, Demand & Growth Analysis. Market Research Report, 2023.

6. Yerlikaya, O. (2023). A review of fermented milks: potential beneficial effects on human nutrition and health. *Afr Health Sci.*, 23(4), 498—507.

7. El-Saadony, M. T., Yang, T., Korma, S. A. et al. (2023). Impacts of turmeric and its principal bioactive curcumin on human health: Pharmaceutical, medicinal, and food applications: A comprehensive review. *Front Nutr.*, 10(9), 1040259.

8. Raquel, F. S. Gonçalves, J.-M. Fernandes, Joana, T. Martins et al. (2024). Incorporation of curcumin-loaded solid lipid nanoparticles into yogurt: Tribo-rheological properties and dynamic in vitro digestion. *Food Research International*, 181, 114112.
9. Dairy Flavors Market Report — Industry Size, Competition, Trends and Growth Opportunities by Region — Forecast by Types and Applications, 2025.
10. Market Data Forecast. Global Spices Market Size, Share, Trends & Growth Forecast Report Segmented By Product Type (Whole Spices, Ground Spices, Spice Blends and Herbs), Application, Distribution and Region (North America, Europe, Asia Pacific, Latin America, Middle East And Africa), Industry Analysis From 2024 to 2032.
11. Claude, E., Mohanad, A., Mohannad, J., Fuad, Al-R. (2019). Effect of Different Essential Oils on the Shelf Life of Concentrated Yogurt. *Annual Research & Review in Biology*, 30(6), 1—9.
12. Walter, E., Cadena, R., Faria, J., Bolini, H., Pinheiro, H., Sant’Ana, A. (2010). Survival analysis methodology to predict shelf life of probiotic flavored yogurt. *Food Research International*, 43, 1444—1448.
13. Sıçramaz, H. (2025). Turmeric-Enriched Yogurt: Increased Antioxidant and Phenolic Contents. *Fermentation*, 11(3), 127.
14. Buniowska-Olejnik, M., Urbański, J., Mykhalevych, A., Bieganowski, P., Znamirska-Piotrowska, A., Kačaniová, M. and Banach, M. (2023). The influence of curcumin additives on the viability of probiotic bacteria, antibacterial activity against pathogenic microorganisms, and quality indicators of low-fat yogurt. *Front. Nutr.*, 10, 1118752.
15. Buniowska-Olejnik, M., Mykhalevych, A., Urbański, J., Hadijeva, I., Berthold-Pluta, A., Banach, M. (2025). Storage quality and antioxidant properties of yogurt fortified with highly bioavailable formula of curcumin, *LWT*, 223, 117798.
16. Felfoul, I., Borchani, M., Samet-Bali, O., Attia, H., Ayadi, M. (2017). Effect of ginger (*Zingiber officinalis*) addition on fermented bovine milk: Rheological properties, sensory attributes and antioxidant potential. *Journal of New Sciences*, 44(3), 2400—2409.
17. Melia, S., Juliyarsi, I., Kurnia, Y. F. (2022). Physicochemical properties, sensory characteristics, and antioxidant activity of the goat milk yogurt probiotic *Pediococcus acidilactici* BK01 on the addition of red ginger (*Zingiber officinale* var. *rubrum* rhizoma). *Vet World*, 5(3), 757—764.
18. Gabbi, D., Bajwa, U., Goraya, R. (2017). Physicochemical, melting and sensory properties of ice cream incorporating processed ginger (*Zingiber officinale*). *International Journal of Dairy Technology*, 71(1), 1—8.
19. Özkaya, S., Pigamov, F., Erbaş, S., Mutlucan, M., Arın, U. E., Şanlı, E. R. (2024). The effect of ginger (*Zingiber officinale* L.) liquid extract on growth, immune response, antioxidant defence mechanism, and general health of Holstein calves. *Trop Anim Health Prod.*, 11, 56(3), 119.
20. Wihansah, R. R. S., Wahyuningsih, W., Arifin, M., Pazra, D. F. (2024). Development of spray-dried yogurt with addition of cinnamon extract as a functional drink. *Food Research*, 8(2), 78—86.
21. Ahmed, H., Davide, T. (2018). Impact of in-vitro gastro-pancreatic digestion on polyphenols and cinnamaldehyde bioaccessibility and antioxidant activity in stirred cinnamon-fortified yogurt. *LWT*, 89, 164—170.
22. Güneş, Bayir A., Bilgin, M. G. (2019). The Effect of Cinnamon on Microbiological, Chemical and Sensory Analyses of Probiotic Yogurt. *Bezmialem Science*, 28, 7(4), 311—316.
23. Behrad, S., Yusof, M. Y., Goh, K. L., Baba, A. S. (2009). Manipulation of Probiotics Fermentation of Yogurt by Cinnamon and Licorice: Effects on Yogurt Formation and Inhibition of *Helicobacter Pylori* Growth in vitro. World Academy of Science, Engineering and Technology. *International Journal of Nutrition and Food Engineering*, 3(12), 563—567.
24. Jiménez-Redondo, N., Vargas, A. E., Teruel-Andreu, C. et al. (2022). Evaluation of cinnamon (*Cinnamomum cassia* and *Cinnamomum verum*) enriched yoghurt during refrigerated storage. *LWT*, 159, 113240.
25. Roheena, A., Hira, A., Afshan, K., Mehwish, I., Mahwish, A., Faiza, S. (2023). Assessment of angiotensin converting enzyme inhibitory activity and quality attributes of yoghurt enriched with *Cinnamomum verum*, *Elettaria cardamomum*, *Beta vulgaris* and *Brassica oleracea*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(2), 103556.
26. Firas, N. I., Zainab, H. A. A., Ali, A. K., Ahmed, A. H., Saleh Abed Al, W. M., Jasim, M. A., Sara, T. H. (2024). Improving the sensory and chemical characteristics of functional yogurt fortified with

cardamom extract (*Elettaria cardamomum* L.). *Functional Foods in Health and Disease*, 14(10), 676—687.

27. Saleena, L. A. K., Song, A. A., Yusof, Y. A., In, L. L. A., Lin, N. K., Pui, L. P. (2024). Development of optimized functional clove fortified probiotic yoghurt. *Journal Food Sci Technol.*, 61(7), 1343—1354.

28. Idovu, S., Ademola, E. A., Oluwakemi, O. I., Anthony, T. I. (2021). Clove (*Syzygium aromaticum*) spices: a review on their bioactivities, current use, and potential application in dairy products. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 3419—3435.

29. Maha, M. B., Hanaa, M. H., Maha, O. A. O., Waled, M. A.-A., Salma, M. G., Sameh, A. K., Salam, A. I., Khaled, S. N. (2025). Effects of clove (*Syzygium aromaticum*) extract on antibacterial activity, phytochemical properties, and storage quality of flavored milk beverages. *Journal of Dairy Science*, 108(4), 3300—3313.

30. Ogwaro, B. A., O’Gara, E. A., Hill, D. J., & Gibson, H. (2021). A Study of the Antimicrobial Activity of Combined Black Pepper and Cinnamon Essential Oils against *Escherichia fergusonii* in Traditional African Yoghurt. *Foods*, 10(11), 2847.

31. Amal, B. S. (2022). Storage quality and antioxidant properties of yogurt fortified with polyphenol extract from nutmeg, black pepper, and white pepper. *Electronic Journal of Biotechnology*, 57, 24—30.

32. Hoda, S. E.-S., Samah, M. E.-S., Ahmed, M. Y. (2022). Designated functional microcapsules loaded with green synthesis selenium nanorods and probiotics for enhancing stirred yogurt. *Scientific Reports*, 12, 14751.

33. Himabindu, D., Arunkumar, H. (2017). Effect of Black Pepper (*Piper Nigrum* L.) on the Keeping Quality of Spiced Cottage Cheese. Research & Reviews: *Journal of Food and Dairy Technology*, 5(4), 30—36.

34. Babiker, E. (2019). Potential of Cinnamon (*Cinnamomum Cassia*) as an Anti-Oxidative and Anti-Microbial Agent in Sudanese Yoghurt (Zabadi). *Journal of Dairy & Veterinary Sciences*, 12(2), 1—8.

35. Britto, G., Bécker, G., Soares, W. et al. (2020). Bioactive compounds and physicochemical properties of dairy products supplemented with plantain and turmeric. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44, 14720.

36. Патент на корисну модель № 119385 UA, МПК А23С 9/123, А23С 9/13 (2006.01). Йогурт з прянощами / Ющенко Н. М., Кузьмик У. Г., Лебедева А. О. № u201703043; заявл. 31.03.2017; опубл. 25.09.2017, Бюл. № 18.

37. Hrachya, G. H., Lusine, V. D., Naira, B. C. et al. (2024). Improvement of functional and sensory properties of fermented dairy drink Narine using raw apricot gum. *Functional Foods in Health and Disease*, 14(8), 600—614.

38. Lusine, V. D., Andranik, H. B., Inna, E. M. et al. (2025). Transforming ordinary yogurt into functional yogurt using low doses of ethanolic extract of *Origanum vulgare* L. *Functional Food Science*, 5(8), 378—392.

39. Gruskiene, R., Bockuviene, A., Sereikaite, J. (2021). Microencapsulation of Bioactive Ingredients for Their Delivery into Fermented Milk Products: A Review. *Molecules*, 26(15), 4601.

40. Qianyu, Y., Nicolas, G., Cordelia, S. (2018). Microencapsulation of active ingredients in functional foods: From research stage to commercial food products. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 167—179.

41. Gupta, A. et al. (2023). Trends in functional beverages: Functional ingredients, health benefits and market analysis. *Food Research International*, 170, 113046.

42. Precedence Research. Functional Drinks Market Size, Share, and Trends 2025 to 2034. *Market Analysis Report*, May 2025.

43. Functional Beverages Market Size, Share & Industry Analysis, By Type (Fortified Juice, Energy Drink, Sports Drink, Dairy-based Beverage, Enhanced Water, Others), By Distribution Channel (Supermarket/Hypermarket, Departmental Stores, Health Stores, Online Stores, Others) and Regional Forecast, 2025—2032.

УДК 640.43:331.4

ENSURING SANITARY AND HYGIENIC CONDITIONS IN THE DESIGN OF INCLUSIVE WORKPLACES AT CRAFT ENTERPRISES

I. Koretska, O. Kuzmin, O. Matyiaschuk, O. Niemirich, A. Kuts, I. Zhytnetskyi
National University of Food Technologies

Key words:

inclusive engineering,
craft enterprises,
restaurant establishments,
workplace accessibility,
sanitary and hygienic
requirements,
food safety,
HACCP,
design

Article history:

Received 27.08.2025
Received in revised form
30.08.2025
Accepted 01.09.2025

Corresponding author:

kuzmin_ovl@ukr.net

ABSTRACT

This article provides a comprehensive analysis of contemporary approaches to the design of craft enterprises, with a particular focus on meeting the needs of persons with disabilities. The research begins with an overview of current studies and publications, emphasizing the critical role of maintaining sanitary and hygienic standards in both the restaurant industry and craft production. The relevance of the study is underscored by the insufficient attention paid in Ukraine to organizing accessible workplaces and implementing sanitary control in craft enterprises, especially under current socio-economic conditions.

The methodological framework includes the assessment of design requirements for craft production units, such as temporary workshops, alongside an analysis of existing practices for maintaining sanitary and hygienic conditions and ensuring competitiveness. General scientific methods — comparison, generalization, analysis, synthesis, and systematization — were employed.

The findings highlight the necessity of creating barrier-free and ergonomically optimized work environments, where accessibility, safety, and comfort are ensured for all employees, including low-mobility groups. Practical recommendations for workplace design cover the appropriate placement and specification of workstations, adaptation of sanitary facilities, optimization of the microclimate, and the application of specialized equipment tailored to individual rehabilitation programs. The article also explores the role of inclusive engineering in promoting the social integration of employees with disabilities, while simultaneously enhancing productivity and overall workplace efficiency. Furthermore, regulatory frameworks and standards guiding the design of accessible premises and equipment are analyzed.

In conclusion, the study demonstrates that implementing inclusive engineering principles and ensuring compliance with sanitary and hygienic standards at the design stage significantly improves workplace safety, product quality, and employee satisfaction. This approach not only fosters social inclusion but also contributes to the competitiveness and sustainability of craft enterprises.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-10

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САНІТАРНО-ГІГІЄНИЧНИХ УМОВ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ІНКЛЮЗИВНИХ РОБОЧИХ МІСЦЬ КРАФТОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

І. Л. Корецька, канд. техн. наук, ORCID ID 0000-0001-5680-5789

О. В. Кузьмін, д-р техн. наук, ORCID ID 0000-0001-9321-6684

О. В. Матіяшук, ст. викладач, ORCID ID 0009-0002-3477-3186

О. В. Неміріч, д-р техн. наук, ORCID ID: 0009-0005-3479-1466

А. М. Куц, канд. техн. наук, ORCID ID: 0000-0002-0207-7613

І. В. Житнецький, канд. техн. наук, ORCID ID: 0009-0006-3029-7281

Національний університет харчових технологій

Стаття присвячена аналізу сучасних підходів до проєктування крафтових підприємств з урахуванням потреб осіб з особливими потребами. Розглянуто роль інклюзивного інжинірингу у формуванні безбар'єрного середовища, організації робочих місць, дотриманні санітарно-гігієнічних норм та оптимізації мікрокліматичних умов. Проаналізовано стандарти щодо доступності приміщень та обладнання для маломобільних груп населення. Використання запропонованих підходів сприяє підвищенню продуктивності, безпеці праці та соціальній інтеграції працівників, створюючи комфортне та ефективне робоче середовище.

Ключові слова: *інклюзивний інжиніринг, крафтові підприємства, заклади ресторанного господарства, доступність робочих місць, санітарно-гігієнічні вимоги, безпечність харчових продуктів, НАССР, проєктування.*

Вступ. У сучасних умовах глобальної конкуренції крафтові підприємства перебувають у стані постійного пошуку нових підходів до підвищення ефективності своєї діяльності [3, 4], щоб не лише зберегти, а й посилити власну конкурентоспроможність [1]. Це вимагає комплексного підходу, який охоплює не лише економічні аспекти, а й соціальні чинники, серед яких особливе значення мають стан здоров'я працівників, їх мотивація, рівень інклюзивності та розвиток професійних навичок [21]. Сучасний бізнес дедалі більше усвідомлює, що ефективність виробництва безпосередньо залежить від соціального благополуччя команди та культури взаємоповаги на робочому місці.

У країнах ЄС харчове виробництво регламентується деталізованими технічними стандартами, що охоплюють усі етапи — від температурних режимів і гігієни виробничих зон до транспортування й зберігання продукції. Виконання цих вимог контролюється як державними, так і незалежними органами [13], що забезпечує сталість процесів і формує високу довіру споживачів [12]. В Україні діють аналогічні законодавчі норми та механізми контролю за дотриманням санітарно-гігієнічних вимог [5], які гармонізуються з європейськими підходами. Упровадження процедур НАССР і системи державного нагляду дозволяє забезпечувати належний рівень безпечності харчових продуктів на всіх етапах виробництва [6, 7, 23].

Важливим викликом і водночас перспективою для крафтових підприємств є впровадження принципів інклюзивності. Створення середовища, де кожен працівник, незалежно від фізичних можливостей, статі, віку чи інших характеристик, відчуває підтримку, є ключовою умовою сталого розвитку бізнесу. Це включає навчання персоналу культурній і гендерній чутливості, формування безпечної та дружньої атмосфери, адаптацію робочих місць до ергономічних стандартів і забезпечення рівного доступу до професійного зростання [23, 27, 28].

Одним із наріжних каменів ефективного функціонування закладів ресторанного господарства (ЗРГ) [8] є суворе дотримання санітарно-гігієнічних норм. Це стосується й крафтових виробництв, орієнтованих на постачання напівфабрикатів або готової продукції для ЗРГ. Системний підхід до дотримання вимог безпечності харчової продукції, закладений ще на етапі проєктування підприємства, дозволяє не лише оптимізувати виробничі процеси, але й зміцнити довіру споживачів, підвищити конкурентоспроможність і забезпечити стабільну якість продукції.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Результати сучасних наукових досліджень [10, 13, 22, 23, 26] свідчать, що стратегія підвищення ефективності бізнесу повинна бути комплексною і враховувати не лише економічні чинники, але й соціальні аспекти функціонування підприємства. Ключовими напрямками стають забезпечення безпечності харчової продукції, створення комфортного та інклюзивного виробничого середовища, а також підтримка професійного й особистісного розвитку працівників. Такі підходи спрямовані на задоволення потреб як споживачів крафтової продукції, так і співробітників виробничих підрозділів, що безпосередньо впливає на конкурентоспроможність підприємства.

Виробники й постачальники зобов'язані не лише дотримуватися санітарно-гігієнічних вимог під час виробництва, але й впроваджувати сучасні системи управління якістю, які гарантують безпечність продукції на всіх етапах її життєвого циклу. Виконання цих вимог є запорукою захисту здоров'я споживачів і підвищення рівня довіри до підприємства.

Важливим елементом стратегії розвитку є створення інклюзивних умов праці, які забезпечують рівні можливості для всіх категорій працівників, зокрема для людей з обмеженими можливостями. Сучасні дослідження акцентують на необхідності комплексного підходу: від архітектурного проєктування будівель і споруд для безперешкодного доступу до облаштування адаптованих робочих місць, що відповідають ергономічним вимогам. Значну роль відіграє забезпечення інформаційної доступності, впровадження належних систем освітлення, вентиляції та мікроклімату, використання резервних джерел енергопостачання та енергоефективних систем опалення й охолодження. Не менш важливим є регулярне навчання персоналу принципам етичної взаємодії з колегами й відвідувачами з особливими потребами.

Реалізація цих заходів сприяє формуванню безпечного, зручного та інклюзивного виробничого середовища, що позитивно впливає на продуктивність праці, знижує плинність кадрів, підвищує рівень задоволеності працівників та створює позитивний імідж підприємства на ринку.

Підтримка людей з інвалідністю та інших соціально вразливих груп [9] розглядається як важлива складова сучасної політики управління персоналом. Це передбачає не лише доступність інфраструктури (пандуси, підйомники, адаптовані приміщення, спеціальні меблі й обладнання), але й створення сприятливого мікроклімату, який відповідає санітарним нормам щодо температури, вологості та швидкості руху повітря [25, 26]. Окремий фокус приділяється підтримці ветеранів війни, які можуть мати фізичні або психологічні обмеження [9, 11, 20, 24]. Багато підприємств долучаються до програм професійної реабілітації та перекваліфікації таких осіб [9, 21, 22, 26], сприяючи їх соціальній інтеграції та розширюючи кадровий потенціал галузі [2].

Отже, стратегія розвитку крафтових підприємств повинна поєднувати високі стандарти санітарної безпечності з принципами соціальної відповідальності та інклюзивності. Такий підхід не лише гарантує високу якість продукції, але й створює перед-

умови для формування сталого бізнесу, орієнтованого на розвиток громади й задоволення потреб усіх учасників виробничого процесу.

Проблематика санітарного контролю у сфері ЗРГ та крафтових підприємств є предметом значної кількості наукових досліджень, які охоплюють питання організації виробництва, випуску напівфабрикатів і готової продукції, оцінювання рівня розвитку ресторанного бізнесу в Україні, а також аналіз сучасного стану та перспектив його подальшого зростання. Досліджуються також організаційно-економічні засади функціонування ЗРГ, шляхи підвищення їх конкурентоспроможності та якості продукції.

Нам сьогодні все ще бракує ґрунтовного аналізу сучасних підходів до організації робочих місць для маломобільних працівників у ресторанній індустрії України, а також комплексного розгляду систем санітарно-гігієнічного контролю з урахуванням сучасних викликів — воєнного стану, зростання соціальної вразливості населення, необхідності адаптації підприємств до міжнародних стандартів якості та інклюзивності. Ці проблеми актуалізують потребу у проведенні системних досліджень, спрямованих на розробку практичних рекомендацій щодо поєднання принципів інклюзивного інжинірингу, санітарної безпеки та сучасних технологій виробництва у сфері крафтового ресторанного бізнесу.

Мета дослідження: обґрунтування сучасних підходів до проектування крафтових виробництв і цехів при ЗРГ з урахуванням вимог санітарно-гігієнічного контролю, інклюзивності та ергономіки робочих місць для працівників з обмеженими фізичними можливостями.

Особливу увагу приділено аналізу чинних суб'єктів господарювання, включно з малими виробничими цехами тимчасового розміщення, а також вивченню їх конкурентної придатності в умовах сучасного ринку.

Матеріали і методи. Методологічною основою дослідження є системний аналіз нормативно-правових вимог України щодо санітарно-гігієнічних норм, дослідження сучасних способів і засобів санітарної обробки виробничих і допоміжних приміщень, а також узагальнення практичних рішень у сфері інклюзивного інжинірингу.

Для досягнення поставленої мети застосовано комплекс загальнонаукових методів: аналізу та синтезу — для виявлення закономірностей розвитку крафтового сегмента ресторанної індустрії; узагальнення та систематизації — для формування рекомендацій щодо оптимального поєднання санітарно-гігієнічних та інклюзивних вимог.

Об'єктом дослідження є процес проектування й функціонування крафтових підприємств, що виробляють напівфабрикати та готову продукцію для ЗРГ, з урахуванням необхідності створення доступних і безпечних умов праці для маломобільних груп населення.

Предметом дослідження є організаційні, технологічні та просторові рішення, які визначають дотримання санітарно-гігієнічних вимог у виробничих підрозділах і цехах ЗРГ.

Наукова новизна роботи полягає у встановленні закономірностей розвитку ресторанної індустрії України в умовах воєнних і соціально-економічних викликів, а також у визначенні шляхів інтеграції принципів інклюзивності у процес проектування й експлуатації крафтових виробництв.

Результати досліджень. Проблематика створення виробничого середовища, у якому кожна людина може почуватися прийнятою, цінною та мати можливість пов-

ною мірою реалізувати свій професійний потенціал, набуває дедалі більшого значення в сучасному суспільстві. Участь осіб з обмеженими можливостями у виробничих процесах розглядається не лише як соціальна потреба, але й як важлива складова корпоративної відповідальності, що сприяє формуванню інклюзивної культури на підприємстві та забезпечує його сталий розвиток.

Дослідження показали, що на всіх етапах — від проєктування та будівництва до експлуатації виробничих будівель і технічних систем — необхідно інтегрувати принципи універсального дизайну. Такий підхід передбачає забезпечення рівних можливостей доступу, комфорту та безпеки для всіх категорій користувачів, зокрема людей з інвалідністю, осіб похилого віку та інших маломобільних груп населення.

Технічні аспекти проєктування крафтових підприємств (рис. 1; табл. 1) мають враховувати архітектурно-планувальні, інженерні та організаційні рішення, які дозволяють уникати бар'єрів і дискомфорту. Йдеться про створення просторів і робочих місць, що є доступними незалежно від фізичних можливостей працівників, їх віку чи інших індивідуальних характеристик [23, 26]. Особливе значення має застосування принципів інклюзивного інжинірингу: використання спеціалізованого обладнання, адаптація робочих зон під потреби конкретних категорій працівників, забезпечення зручної навігації та формування безбар'єрного простору.



Рис. 1. Кольорове кодування крафтового підприємства кафе-кондитерської на зони за номерами приміщень: приміщення для відвідувачів (1, 5, 6) — блакитний; виробничі приміщення (7—13) — зелений; складські приміщення (14—20, 35, 36) — сірий; службово-побутові приміщення (21—25, 29, 34) — жовтий; технічні приміщення (30—33) — коричневий; санвузли (2—4, 26—28) — червоний

Основними пріоритетами в організації простору крафтового підприємства кондитерської є забезпечення харчової безпечності, відповідність стандартам якості продукції, а також створення інклюзивного середовища, доступного для всіх груп населення, включно з маломобільними відвідувачами та персоналом.

Таблиця 1. Найменування приміщень та їх функціональне призначення

№ п/п	Назва приміщення	Функціональне призначення
1.	Вестибюль	Зона входу з гардеробом і доступом до туалетів для відвідувачів
2.	Вбиральня жіноча	Санітарні вузли для особистої гігієни відвідувачів
3.	Вбиральня чоловіча	Санітарні вузли для особистої гігієни відвідувачів
4.	Вбиральня для маломобільних груп населення	Санітарні вузли для особистої гігієни маломобільних груп
5.	Гардероб	Тимчасове зберігання верхнього одягу та особистих речей відвідувачів
6.	Обідня зала	Обслуговування та організація споживання готових страв
7.	Доготівельний цех	Завершальна підготовка напівфабрикатів — нарізання, порціонування, панірування та маринування продуктів перед їх тепловою обробкою
8.	Кондитерський цех	Виготовлення борошняних і цукристих кондитерських виробів
9.	Мийна кухонного посуду	Миття кухонного інвентарю після використання у виробництві
10.	Мийна столового посуду	Миття посуду, що надходить із залу та роздавальної, з організацією зворотного потоку
11.	Приміщення завідуючого виробництвом	Організація та контроль виробничого процесу, ведення документації й координації роботи персоналу
12.	Сервізна	Зберігання та видача посуду, приборів і столової білизни офіціантам
13.	Білизняна	Сортування, облік та зберігання чистої і брудної білизни
14.	Завантажувальна	Приймання, перевірка та сортування поставок
15.	Приміщення комірника	Облік, приймання, зберігання та видача сировини
16.	Холодильна камера молочно-жирових продуктів і гастрономії	Охолоджене зберігання молочних продуктів, масла, маргарину, олії
17.	Камера овочевих і фруктових н/ф	Охолоджене зберігання свіжих овочів, фруктів і зелені
18.	Комора бакалійних товарів і напоїв	Зберігання фасованих товарів тривалого зберігання
19.	Комора тари та інвентарю	Зберігання чистої тари, кухонного інвентарю та допоміжного обладнання, необхідного у виробничому процесі
20.	Комора сухих продуктів	Зберігання сипучих і неохолоджуваних харчових продуктів
21.	Кабінет директора	Організація адміністративного управління закладом
22.	Кабінет бухгалтера	Ведення фінансово-облікової документації та звітності
23.	Приміщення персоналу	Місце для переодягання, гігієни та відпочинку працівників
24.	Гардероб жіночий	Особиста гігієна й переодягання для жінок-працівниць
25.	Гардероб чоловічий	Особиста гігієна й переодягання для чоловіків-працівників

Продовження таблиці 1

26.	Душові чоловічі/жіночі	Підтримання особистої гігієни працівників перед і після зміни
27.	Туалети жіночі	Санітарно-гігієнічні потреби персоналу
28.	Туалети чоловічі	Санітарно-гігієнічні потреби персоналу
29.	Приміщення офіціантів і барменів	Зберігання, облік та обслуговування службової білизни
30.	Електрощитова	Живлення електромережею, щити, автоматика та захист
31.	Теплопункт	Розміщення обладнання для розподілу теплової енергії
32.	Вентиляційна камера припливна	Забезпечення подачі та циркуляції свіжого повітря
33.	Вентиляційна камера витяжна	Видалення забрудненого повітря з приміщень
34.	Комора прибирального інвентарю	Зберігання мийних засобів і господарського інвентарю
35.	Комора матеріально-технічного забезпечення	Зберігання технічних засобів і витратних матеріалів
36.	Приміщення для обробки яєць	Овоскопія, миття та знезараження яєць перед використанням

Забезпечення належних умов праці для осіб з інвалідністю є ключовим напрямом сучасної соціальної політики держави. Це завдання спрямоване не лише на підвищення якості життя цієї категорії населення, але й на забезпечення їх рівних можливостей у професійній сфері.

Відповідно до Закону України № 875-ХІІ «Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні» [19] встановлено такі вимоги: роботодавці з чисельністю персоналу від 8 до 25 осіб зобов'язані створити щонайменше 1 робоче місце для особи з інвалідністю; роботодавці з чисельністю понад 25 осіб мають забезпечити працевлаштування осіб з інвалідністю на рівні не менше 4% від середньооблікової чисельності штатних працівників.

Ці норми поширюються на всі підприємства, установи й організації, у тому числі на підприємства громадських об'єднань осіб з інвалідністю та фізичних осіб-підприємців, незалежно від форми власності чи системи оподаткування.

Особливе значення в умовах сучасних вимог до громадського харчування має впровадження принципів системи НАССР, яка вимагає чіткого зонування приміщень відповідно до потоків сировини, готової продукції, персоналу, посуду та відвідувачів. Це зонування має на меті запобігання перехресному забрудненню та дотримання технологічної послідовності процесів.

Водночас важливою складовою проектування стає орієнтація на потреби різних категорій користувачів. Інклюзивний підхід передбачає формування доступного простору як у загальнодоступних зонах (вестибюль, санвузли, обідня зала), так і в службових приміщеннях (гардероби, туалети персоналу), що забезпечує рівні можливості участі у виробничих і соціальних процесах.

Таким чином, ефективна організація простору кафе-кондитерської повинна не лише відповідати гігієнічним і виробничим вимогам, а й сприяти соціальній інтеграції, високій якості обслуговування та довірі споживачів до продукції закладу.

Група приміщень для відвідувачів — призначена для організації комфортного перебування, обслуговування та споживання готової продукції. До її складу входять

обідні зали, вестибюлі, гардероби, бари з підсобними приміщеннями, а також санвузли для різних категорій відвідувачів, включно з маломобільними групами населення.

Виробнича група приміщень — призначена для технологічної обробки сировини та напівфабрикатів із подальшим виготовленням готової продукції. Включає основні (кулінарний, кондитерський), допоміжні (мийні, сервізна), а також спеціалізовані приміщення для санітарної обробки продуктів (яєць), що забезпечують безперервний і безпечний виробничий процес.

Складська група приміщень — забезпечує приймання, короткочасне та довготривале зберігання сировини, продовольчих товарів і технічних матеріалів. Включає охолоджувані камери, неохолоджувані комори, приміщення для добового запасу, матеріально-технічного забезпечення, прибирального інвентарю, а також зони завантаження та обліку ресурсів.

Службово-побутова група приміщень — призначена для забезпечення гігієнічних умов праці, зберігання та обліку білизни, переодягання персоналу, а також ведення адміністративно-управлінської та фінансово-облікової діяльності. До складу входять кабінети адміністрації, гардероби, приміщення для персоналу, офіціантів і барменів, білизняна.

Технічна група приміщень — призначена для функціонування інженерних систем підприємства, зокрема подачі тепла, електроенергії та вентиляції. Включає тепловий пункт, електрощитову, припливно-витяжні вентиляційні камери.

Санвузли — спеціалізовані приміщення для забезпечення особистої гігієни відвідувачів і працівників, у тому числі санітарні вузли для чоловіків, жінок та маломобільних груп, що розміщуються відповідно до вимог санітарних норм і безбар'єрності.

Відповідно до санітарних вимог, згідно з планувальним рішенням, передбачено розподіл виробничих приміщень на шість функціональних зон залежно від ступеня ризику забруднення сировини, напівфабрикатів, матеріалів і готових виробів. Такий розподіл дозволяє мінімізувати мікробіологічні ризики на всіх етапах виробництва.

На основі функціонального зонування складено характеристику приміщень і потоків (сировини, напівфабрикатів, готової продукції, відходів, персоналу), що дає змогу ефективно організувати рух усіх компонентів виробничого процесу й уникнути перехресного забруднення (рис. 1).

Впровадження системи НАССР у крафтових кафе-кондитерських забезпечує низку переваг. По-перше, система гарантує безпечність продукції шляхом систематичного контролю небезпек, що особливо важливо для закладів, які працюють із сировиною високого бактеріологічного ризику. По-друге, НАССР сприяє стандартизації виробничих процесів, що знижує кількість браку, полегшує навчання нових працівників і підвищує дисципліну. По-третє, наявність системи підвищує довіру споживачів, які дедалі частіше обирають заклади з прозорими процесами контролю якості. По-четверте, НАССР забезпечує відповідність законодавчим вимогам, що дозволяє уникнути штрафів і санкцій. Крім того, системний контроль зменшує виробничі втрати, оптимізує витрати та підвищує економічну ефективність. Зрештою, процес впровадження системи передбачає навчання персоналу, що сприяє підвищенню професійної культури та відповідальності.

Під час аналізу нормативної бази України [14—20] (табл. 2) встановлено, що проектування крафтових виробництв повинно забезпечувати не лише функціональність

і технологічну доцільність приміщень, а й безпечність і доступність для осіб з інвалідністю. Це стосується конструктивних і планувальних рішень: сходи й пандуси мають відповідати вимогам безпечності та комфорту, поручні та огороження повинні бути зручними для використання людьми на візках, а матеріали підлогових покриттів — запобігати ковзанню й забезпечувати безпечне пересування.

Таблиця 2. Загальні вимоги до проєктування та шляхи їх реалізації на крафтових підприємствах

Загальні вимоги до проєктування	Шляхи вирішення (інженерні та організаційні рішення)
Доступність будівель для осіб з особливими потребами	Забезпечення комплексу архітектурно-планувальних, інженерно-технічних, ергономічних та організаційних заходів, що відповідають ДБН В.2.2-40:2018 [16]: безбар'єрні входи, пандуси з безпечним нахилом, тактильні елементи навігації
Місця для обслуговування осіб з особливими потребами	Розміщення на першому поверсі за відсутності ліфтів; створення комунікаційних шляхів з достатньою шириною та рівним, неслизьким покриттям, що забезпечує прохід інвалідних візків (ДБН В.2.2-25:2009 [14])
Розташування робочих місць	Розміщення столиків для маломобільних осіб поблизу входу, але поза прохідними зонами, із забезпеченням можливості маневрування та вільного доступу (ДБН В.2.2-40:2018 [16])
Допоміжні приміщення	Проектування вестибюлів, холів, санітарних вузлів із врахуванням потреб маломобільних груп: збільшені дверні прорізи, розширені зони розвороту, спеціально обладнані санітарні прилади, поручні (ДБН В.2.2-40:2018 [16])
Санітарно-побутові та спеціальні приміщення	Планування з урахуванням норм ДБН В.2.2-28:2010 [15]: зонування для праці та відпочинку, безпечне розділення потоків сировини і готової продукції, оптимальна вентиляція та освітлення
Інформаційне забезпечення	Створення зрозумілої навігації: піктограми, дублювання шрифтом Брайля, аудіоінформатори. Розташування інформаційних табличок на доступній висоті, відповідність дизайну інтер'єру (ДБН В.2.2-25:2009 [14])
Облаштування автостоянок	Від 1 місця (для стоянок <100 місць) до 15% (для стоянок 100—200 місць) спеціально відведених паркомісць для осіб з інвалідністю. Забезпечення зручних під'їздів, позначення розміткою та відповідними знаками (ДБН В.2.2-25:2009 [14])

Джерело: аналіз нормативних джерел.

Систематизація та порівняння національних стандартів показали, що інтеграція принципів інклюзивності у проєктуванні крафтових підприємств підвищує ефективність виробничих процесів, зменшує кількість виробничих ризиків та підсилює соціальну привабливість роботодавця. У результаті це створює більш конкурентоспроможну бізнес-модель, орієнтовану не лише на економічну вигоду, але й на соціальну відповідальність.

Під час проєктування крафтових підприємств особливої уваги потребує створення робочих місць, які одночасно враховують нормативні вимоги та індивідуальні потреби осіб з інвалідністю відповідно до положень ДБН В.2.2-40:2018 [16]. На етапі розроблення завдання на проєктування необхідно чітко визначити заплановану кількість таких робочих місць, їх типи (звичайні або спеціалізовані), а також оптимальну схему розташування в межах об'ємно-планувальної структури підприємства. Робочі місця можуть бути як інтегрованими у загальний виробничий процес (розосереджені), так і сконцентрованими у спеціалізованих цехах, виробничих ділянках або допоміжних

приміщеннях, що дає змогу забезпечити індивідуалізований підхід до організації праці.

Окрім того, важливо передбачити додаткові приміщення, необхідні для відпочинку, реабілітації та соціальної інтеграції працівників з особливими потребами. Кожне робоче місце повинно бути не лише функціонально зручним, але й безпечним для здоров'я, відповідати ергономічним вимогам і сприяти продуктивній роботі. Завдання на проектування має включати деталізацію спеціалізації таких робочих місць та, у разі потреби, перелік спеціально підбраного обладнання й допоміжних пристроїв, адаптованих з урахуванням індивідуальних програм реабілітації працівників. Такий системний підхід дозволяє створити безбар'єрне середовище, підвищити ефективність виробництва та реалізувати принципи соціальної відповідальності бізнесу.

Для забезпечення ефективної працездатності та комфорту працівників з особливими потребами критично важливим є підтримання стабільних параметрів мікроклімату у робочих приміщеннях, особливо в галузях, де продуктивність значною мірою залежить від фізичного комфорту та безпеки праці. Працівники з інвалідністю демонструють підвищену чутливість до коливань температури, вологості та швидкості руху повітря, що робить їх більш уразливими до теплових стресів або погіршення стану здоров'я при надмірно високих або низьких температурах у приміщенні.

Мікрокліматичні умови для людей з особливими потребами (зокрема осіб з інвалідністю, людей похилого віку, хворих і маленьких дітей) на підприємствах харчування (ЗРГ) та в адміністративно-побутових приміщеннях відповідають підвищеним оптимальним умовам, визначеним у ДБН В.2.5-67:2013 [17] та ДСН 3.3.6.042-99 [18]. Ці умови включають результуючу температуру 21—23 °С у холодний період року (термічний опір одягу — 1 Clo, рівень метаболізму — 1,2 Met) та 23,5—25,5 °С у теплий період (0,5 Clo, 1,2 Met), відносну вологість повітря 30—50%, швидкість руху повітря до 0,8 м/с та температуру поверхні підлоги 19—29 °С. Такі параметри забезпечують максимальний комфорт і безпеку, враховуючи підвищену чутливість цих груп до змін мікроклімату.

Системи вентиляції, опалення та кондиціонування повинні забезпечувати стабільність цих параметрів, уникаючи різких коливань, які можуть викликати дискомфорт або погіршення здоров'я. Особлива увага приділяється індивідуальному регулюванню мікроклімату для адаптації до специфічних потреб працівників і відвідувачів.

У зв'язку з цим застосування спеціалізованих систем управління мікрокліматом, здатних адаптувати умови до індивідуальних потреб працівників, є надзвичайно актуальним. Такі системи дозволяють підтримувати оптимальні температурні режими, рівень вологості та циркуляцію повітря, створюючи безпечне й комфортне середовище для всіх категорій персоналу.

Відповідно до ДБН В.2.2-40:2018 [16], забороняється розташовувати виробничі ділянки для маломобільних груп населення на підвальних поверхах, за винятком випадків, коли медичні показання не обмежують перебування працівників у таких приміщеннях. Ця вимога забезпечує дотримання принципів безпечного та доступного робочого середовища для осіб з особливими потребами.

Для підтримання ефективної працездатності та комфорту працівників з особливими потребами надзвичайно важливо забезпечувати стабільні параметри мікроклімату в робочих зонах виробничих приміщень, особливо в галузях із підвищеною температурою, таких як варильне відділення, гарячий цех, зала випікання тощо. Підтримка оптимальних температурних та вологісних режимів, а також ефективної вентиляції, є

критичною для збереження фізичного та психоемоційного стану працівників, безпеки виробництва та високої продуктивності праці.

Відповідно до функціонального призначення виробничих зон ЗРГ та рівня ризику забруднення сировини, матеріалів, напівфабрикатів або готових страв, робочі простори доцільно поділяти на шість основних функціональних зон (рис. 1) залежно від ступеня санітарного ризику. Така організація потоків і приміщень дозволяє мінімізувати ймовірність перехресного забруднення та гарантувати безпечне виробництво харчової продукції.

Працівники з особливими потребами демонструють підвищену чутливість до коливань температури та інших параметрів мікроклімату, що робить їх більш вразливими до теплових стресів і погіршення стану здоров'я. У зв'язку з цим застосування спеціалізованих систем управління мікрокліматом, зокрема спліт-систем та адаптивних вентиляційних установок, які можуть враховувати індивідуальні потреби працівників, є особливо актуальним. Такі рішення дозволяють підтримувати стабільні й комфортні умови праці, забезпечують безпечне середовище та підвищують ефективність виробничих процесів.

Висновки. 1. Впровадження систем контролю санітарних і гігієнічних вимог є надзвичайно важливою складовою сучасного ресторанного ринку України. Забезпечення дотримання цих вимог уже на стадії проєктування дозволяє ефективно контролювати діяльність ЗРГ, підвищує їх конкурентоспроможність і гарантує високу якість виготовленої продукції.

2. Проєктування доступних робочих зон, впровадження спеціалізованого обладнання та створення безбар'єрного середовища є ключовими аспектами інклюзивного інжинірингу. Необхідно передбачати належні умови для пересування та обслуговування маломобільних груп населення, включно зі спеціально обладнаними санітарно-побутовими приміщеннями, продуманим плануванням комунікаційних шляхів і відповідним оздобленням інтер'єру. Виконання цих вимог забезпечує формування інклюзивного середовища, де всі працівники та відвідувачі можуть почуватися комфортно та безпечно, незалежно від фізичних можливостей. Отже, проєктування крафтових підприємств і місць реалізації крафтової продукції з урахуванням принципів інклюзивності є важливим кроком на шляху створення доступного та комфортного середовища для всіх категорій користувачів.

3. Урахування потреб людей з особливими потребами на етапі проєктування та організації робочих місць сприяє соціальній інтеграції таких осіб, підвищує загальний рівень продуктивності праці та створює умови для безпечного, комфортного і ефективного функціонування виробничих процесів у крафтових підприємствах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Adobor, H., McMullen, R. (2007). Supplier diversity and supply chain management: A strategic approach. *Business Horizons*, 50(3), 219—229. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2006.10.003>.
2. Gelderman, C. J., Semeijn, J., Mertschuweit, P. P. (2016). The impact of social capital and technological uncertainty on strategic performance: The supplier perspective. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 22(3), 225—234. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2016.05.003>.
3. Ivanov, V., Shevchenko, O., Marynin, A., Stabnikov, V., Gubenia, O., Stabnikova, O., Shevchenko A., Gavva, O., Saliuk, A. (2021). Trends and expected benefits of the breaking edge food technologies in 2021—2030. *Ukrainian Food Journal*, 10(1), 7—36. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-1-3>.
4. Koretska, I. (2023). Creation of a food chain to provide complete dietary nutrition // *Food for life: promising raw materials and innovative processing*: book of tesis the International conference, 10—11 May 2023, Kiyv, Ukraine.
5. Koretska, I., Maslikov, M. (2024). Sanitary and hygienic control of food production in restaurant

establishments. *Sworld-Us Conference Proceedings*, 1(usc22—01). <https://doi.org/10.30888/2709-2267.2024-22-00-026/>.

6. Kuzmin, O. V., Chemakina, O. V., Kuzmin, A. O. (2018). The quality management system of the reception service — as one of the elements of the innovative development of the hotel-restaurant industry // *Innovative development of the economy: global trends and national features*. Lithuania: Baltija Publishing.

7. Kuzmin, O., Chemakina, O., Kuzmin, A. (2019). The quality management system in the banquet service as one of the elements of innovative development of the hotel-restaurant industry. Management mechanisms and development strategies of economic entities in conditions of institutional transformations of the global environment: collective monograph. Riga: "Landmark" SIA, 2, 101—110.

8. Niemirich, O., Koretska, I., Stukalska, N., Vlasyuk, R. (2023). Modern innovative solutions in restaurant establishments. // *Distance education as the main problem of young people: the 15th International scientific and practical conference*, 26—29 December 2023, Madrid, Spain. International Science Group.

9. Park, C. L., Nunes, M. F., Machuca, J. A. D. (2024). Reputational enablers for supplier diversity: An exploratory approach on the inclusion of war veterans and disabled people. *Journal of Purchasing and Supply Management*. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2024.100898>.

10. Pozdniakov, S. V., Kuzmin, O. V., Kiiko, V. V., Korenets, Y. M. (2018). Definition of the role of business modelling in the building of a management information system. // *Strategies for Economic Development: The experience of Poland and the prospects of Ukraine: collective monograph*. Kielce: Izdawniciba "Baltija Publishing", 2.

11. Wyse, J. J., Pogoda, T. K., Mastarone, G. L., Gilbert, T., Carlson, K. F. (2020). Employment and vocational rehabilitation experiences among veterans with polytrauma/traumatic brain injury history. *Psychological Services*, 17(1), 65—74. <https://doi.org/10.1037/ser0000283>.

12. Yurchenko, I., Kuzmin, O., Zakharov, V. (2022). Implementation of HACCP system in restaurants. // *Modern science: innovations and prospects: The 10th International scientific and practical conference*, June 25—27, 2022, Stockholm, Sweden. SSPG Publish.

13. Горач, О. О. (2024). Дослідження санітарно-гігієнічних вимог до харчових підприємств в Україні та в країнах ЄС. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 6, 167—173. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.18>.

14. ДБН В.2.2-25:2009. Будинки і споруди. Підприємства харчування (заклади ресторанного господарства). Зі Змінами № 1 та № 2. Київ. Мінрегіонбуд України. 2010. [Чинний від 01.09.2010]. Наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 30.12.2009 р. № 703.

15. ДБН В.2.2-28:2010. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. Київ. Мінрегіонбуд України. 2011. [Чинний від 01.10.2011]. Наказ від 30.12.2010 № 570.

16. ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. [Чинний від 01.04.2019]. Зміна №1 від 16 травня 2022 року. Київ. Мінрегіон України. 2022.

17. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 01.01.2014]. Київ. Мінрегіон України, 2013.

18. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 01.12.1999]. Постанова № 42 МОЗ України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99/conv#Text> (дата звернення: 22.05.2024).

19. Закон України «Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні» № 875-ХІІ від 21.03.1991 р. Відомості Верховної Ради України. 1991. № 21. Ст. 252. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/875-12> (дата звернення: 24.09.2025).

20. Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» від 23.12.1997 № 771/97-ВР. Редакція від 04.04.2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771/97-вр> (дата звернення: 25.09.2025).

21. Зверев, М. В., Кузьмін, А. О., Чемакіна, О. В. (2024). Стратегії підвищення ефективності ресторанного бізнесу через реабілітацію, мотивацію, інклюзивність та розвиток компетентностей // *Інноваційні технології в готельно-ресторанному та туристичному бізнесі*: матеріали ХІІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, присвяченої 140-річчю НУХТ (м. Київ, 21 травня 2024 р.). Київ: НУХТ.

22. Зубар, Н., Жеплінська, М., Корецька, І., Шевченко, В. (2025). Інноваційні тренди на підприємствах харчування: технологія, організація, логістика // *Наукові записки: [збірник наукових статей] / М-во освіти і науки України, Укр. держ. ун-т імені Михайла Драгоманова*. Київ: Видавничий дім «Гельветика». Випуск CLXI (161).

23. Корецька, І. Л., Кузьмін, О. В., Матіяшук, О. В. (2025). Забезпечення санітарно-гігієнічних

умов при проектуванні крафтових підприємств. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 3, 332—340. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.3.37>.

24. Корецька, І. Л., Матіяшук, О. В. (2025). Врахування санітарно-гігієнічних вимог при проектуванні закладів ресторанного господарства — запорука успішного бізнесу. XIV International Scientific and Practical Conference "*Innovative Technologies in the Hotel, Restaurant and Tourism Business*", May 22. Book of abstracts. NUFT, Київ.

25. Корецька, І. Л., Матіяшук, О. В. (2025). Проектування закладу ресторанного господарства з дотриманням санітарно-гігієнічних вимог. Зб. тез доп. за мат. VII Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. «*Реалії та перспективи розвитку індустрії гостинності в умовах інтеграційних процесів*», 21 березня 2025 р. Мукачево.

26. Дударев, І. М., Кузьмін, О. В., Тараймович, І. В. та ін. (2024). *Крафтові харчові технології: розроблення, дослідження, інжиніринг*: навчальний посібник. Луцький національний технічний університет. Одеса: Олді+.

27. Мельник, О. П., Корецька, І. Л. (2023). Європейський зелений курс: забезпечення харчової безпеки. *Якість і безпека харчових продуктів*: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції, 9—10 листопада 2023 р. Київ: НУХТ.

28. Польовик, В. В., Березова, Г. О., Корецька, І. Л. (2022). Організація харчування у воєнний час. *Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі*: матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції, присвяченої 70-річчю з дня народження професора В. Ф. Доценка, 17 травня 2022 р. Київ: НУХТ.

УДК 637.146.3

HURDLE TECHNOLOGIES OF FERMENTED DAIRY PRODUCTS

A. Lukashchuk, T. Osmak, G. Polishchuk*National University of Food Technologies***Key words:**

fermented dairy products,
hurdle technologies,
shelf life,
food waste

Article history:

Received 02.07.2025
Received in revised form
16.07.2025
Accepted 18.07.2025

Corresponding author:

lukanatol@gmail.com

ABSTRACT

This article highlights the issue of extending the shelf life of fermented dairy products. Such issues have become relevant in recent years due to the global problem of food losses, which is observed on a global scale. Analytical studies and reports of the UN, the European Commission, Eurostat, as well as the assessment of food waste in Ukraine by the Global IFS Platform are considered. Producers of fermented dairy products need innovative solutions to solve this problem, taking into account modern trends in the consumption and production of food products, in particular fermented dairy products. Modern trends in the production and consumption of food products and their impact on future production technologies are analyzed. Attention is drawn to what kind of requests for modern food guide consumers when choosing and purchasing food products at retailers' stores. A review of existing scientific publications covering the topic of the impact of the use of hurdle technologies on improving food safety and storage is carried out. Attention is paid to those "hurdles" that are most typical for fermented dairy products and have the prospect of being successfully applied to extend their shelf life. Such hurdles are cooling, high temperature, pH, redox potential and competitive microflora. Examples are given of what hurdles and how they can affect unwanted or pathogenic microflora and protect the product from spoilage. Attention is drawn to innovative developments among natural microbial solutions, such as direct-introduction cultures and bioprotective cultures for the production of fermented dairy products. An integrated approach is proposed in the application of a number of hurdles that will operate at different stages of the production of fermented dairy products and will have a synergistic effect on extending the shelf life of such products.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-11

БАР'ЄРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ФЕРМЕНТОВАНИХ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ

А. В. Лукашук, аспірант, ORCID ID 0009-0008-6650-9332

Т. Г. Осьмак, канд. техн. наук, ORCID ID 0000-0001-5548-1719

Г. Є. Поліщук, д-р техн. наук, ORCID ID 0000-0003-3013-3245

Національний університет харчових технологій

У статті висвітлено питання проблематики подовження термінів придатності ферментованих молочних продуктів. Проаналізовано сучасні тенденції виробництва і споживання продуктів харчування та їх вплив на сучасні технології виробництва. Здійснено огляд існуючих наукових публікацій щодо впливу бар'єрних технологій на покращення безпечності харчових продуктів та їх зберігання. Особливу увагу приділено «бар'єрам», які є найбільш типовими для ферментованих молочних продуктів і мають перспективу бути успішно застосованими для подовження їх термінів придатності. Запропоновано комплексний підхід у застосуванні ряду бар'єрів, які діятимуть на різних стадіях технології виробництва ферментованих молочних продуктів і будуть мати синергетичний вплив на подовження термінів придатності.

Ключові слова: ферментовані молочні продукти, бар'єрні технології, терміни придатності, якість.

Вступ. Ферментовані молочні продукти — важливі продукти в харчуванні людей усіх вікових груп. У кількісному виразі молоко і молочні продукти становлять еквівалент 18 л молока на місяць у споживчому кошику населення, займаючи таким чином перше місце серед кількості інших важливих продуктів харчування, таких як овочі (10 кг), хліб (8,2 кг), м'ясо (5 кг) та інші продукти [1, 2]. Отже, виробництво цих продуктів харчування безперечно є однією з вагомих складових економіки вітчизняної харчової галузі.

У сучасних умовах виробництва харчових продуктів особливе місце займає якість і безпечність готової продукції. Проблеми можливого погіршення якості та псування готової продукції під час зберігання гостро відчуються виробниками, оскільки призводять до втрати лояльності споживача та несуть суттєві фінансові збитки. Одним із ключових завдань для виробництв продуктів харчування є подовження їх термінів придатності. Ферментовані молочні продукти, як джерело поживних нутрієнтів, корисної пробіотичної мікрофлори, а найголовніше як популярні і традиційні продукти харчування всіх верств населення, особливо потребують уваги у вирішенні такого завдання.

За даними Євростату [3, 4] відходи харчових виробництв сягають понад 59 мільйонів тонн щорічно, що складає близько 132 кг на жителя ЄС. Загальна втрата продукції в грошовому виразі оцінюється в 132 мільярди євро [5]. Аналіз таких втрат показує, що понад половину (54%) їх складають втрати продукції в домогосподарствах, тобто безпосередньо в кінцевого споживача на столі. Решта складаються із втрат на виробництві харчових продуктів (19%), втрат у закладах громадського харчування та ресторанах (11%), у роздрібній торгівлі (8%) тощо. У світовому масштабі у 2022 році було зафіксовано близько 1,05 мільярда тонн харчових відходів, з яких 60% були саме в домогосподарствах і лише 12% у торговельних мережах [6]. В Україні в 2022 році кількість харчових відходів склала 2 758 037 тонн [7], що в 1,5 раза більше за середньоєвропейський показник [8].

Однією з вагомих причин збільшення частки харчових відходів є її передчасне псування ще до закінчення термінів придатності, встановлених виробником. Подовження термінів зберігання ферментованих молочних продуктів потенційно може зменшити ризики їх передчасного псування під час транспортування до торговельних мереж, при перебуванні на полицях магазинів, а також при потраплянні безпосередньо до столу кінцевого споживача.

Метою статті є аналіз сучасних підходів і технологій обробки сировини, зокрема таких як використання бар'єрів і бар'єрних технологій, та їх вплив на якість, безпечність і терміни придатності ферментованих молочних продуктів.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Різноманітні та відомі здавна людству методи для подовження термінів зберігання харчових продуктів, такі як термічна обробка, охолодження, соління тощо, а також більш сучасні способи з використанням глибокої технологічної переробки або консервантів, сьогодні вже не можуть повна задовольняти вимогам світового ринку харчових продуктів.

Про це свідчать маркетингові огляди і прогнози світових лідерів у виробництві харчових продуктів, таких як New Nutrition Business, Innova Market Insights, Mintel та інших.

В останні роки у світі основним трендом у виробництві харчових продуктів є мегатренд «натуральність» або «натуральна функціональність» [9]. Відмова від штучних добавок, бажання споживати їжу, яка не є результатом глибокої технологічної переробки сировини та містить корисні мікроелементи і вітаміни, — типовий запит сучасного споживача. Обираючи харчовий продукт на полицях торговельних мереж, сучасний споживач не лише віддає перевагу продуктам, які відповідають статусу «clean label», звертає увагу на поживну цінність, термін придатності та натуральність [10], а й застосовує індивідуальний і адаптивний підхід до покращення власного здоров'я [11]. Особливе місце в сучасному харчуванні займають ферментовані молочні продукти [12].

Сучасний тренд «sustainable nutrition» також набирає популярності і вагомості останнім часом. Сьогодні людство постає перед складним і багатогранним викликом — необхідністю збільшувати обсяги виробництва продуктів харчування і покращувати їх якість та, водночас, дбати про захист природних екосистем, зменшувати обсяги харчових відходів і забезпечувати стійкість продовольчих систем в умовах зміни клімату, економічних потрясінь і міжнародних конфліктів [13].

Виробники ферментованих молочних продуктів не можуть залишатися осторонь таких проблем і тенденцій. Вони мають бути активно залученими до вирішення завдань зменшення втрат готової продукції та збереження іміджу високої якості власної торговельної марки. Виникає потреба в перегляді традиційних підходів до виробництва сучасних продуктів харчування, пошуку та застосування таких рішень, які дозволять подовжувати терміни придатності продукції в натуральний спосіб і будуть задовольняти ринкові тенденції і запити споживачів в умовах ХХІ століття.

Протягом століть людство використовувало різноманітні, емпірично винайдені прийоми для збереження продуктів харчування придатними до вживання та їх захисту від швидкого псування. Застосування деяких простих прийомів для зберігання їжі створювало можливості для накопичення її запасів, перевезення на далекі відстані в тривалих подорожах, сприяло розвитку торгівлі. Лише дуже мала частка харчових продуктів може зберігатися відносно тривалий час без псування, наприклад, висушене зерно, горіхи, мед. Більшість їжі в давнину не могла бути збережена без поперед-

ньої обробки. Висушування, в'ялення, запікання, кип'ятіння, охолодження, засолування, сквашування — неповний перелік прийомів, які людство емпірично винайшло ефективними для того, щоб не лише отримувати придатну до споживання їжу, а й зберігати її на деякий час.

Природні процеси псування тривалий час людством сприймалися як природна особливість, яка існує сама по собі і є невід'ємною властивістю того чи іншого харчового продукту. Лише в другій половині XIX століття, завдяки науковим дослідженням видатного французького мікробіолога і хіміка Луї Пастера, було встановлено мікробіологічне походження процесів, які призводять до псування їжі. Саме на честь цього видатного науковця і названо відомий технологічний процес температурної обробки — пастеризація, який започаткував науковий підхід у побудові технологічного процесу виробництва харчових продуктів з подовженими термінами придатності.

Вивченням впливу життєдіяльності різноманітних мікроорганізмів на харчові продукти займалися низка вчених, діяльність яких припала на кінець XIX та початок XX століття. Серед них особливо можна виокремити праці таких вчених того часу, як Роберта Коха, Еміля Крістіана Гансена та Іллі Мечнікова, дослідження яких у сфері мікробіології, зокрема мікробіології молока та молочних продуктів, на сьогодні є фундаментальними.

Мікробне псування їжі призводить не лише до суто естетичних чи економічних втрат. Зіпсована їжа не лише стає непривабливою для її купівлі, споживання та може бути втрачена як матеріальна цінність. Набагато більшою проблемою зіпсованої їжі через мікробну активність стає втрата безпечності такої продукції і наслідки від її вживання.

Критичною проблемою для здоров'я населення є харчові інфекції. Їх частота та швидкість розповсюдження значною мірою підсилюються останнім часом завдяки розширенню комерційних мереж з виробництва продуктів, торгівлі, а також закладів громадського харчування [14]. Забруднення молока та молочних продуктів, які є одними з основних джерел харчування людства, штамми *Listeria* spp., зокрема *L. monocytogenes*, є особливо небезпечним для життя та здоров'я людини. Контроль цього патогену через його особливу стійкість до консервантів, антибіотиків та ряду іншої технологічної обробки вже після контамінації є критично важливим для дотримання безпечності харчових продуктів [15]. Цей патоген здатний до формування біоплівки, що особливо ускладнює контроль виробництва харчової продукції на виявлення присутності небезпечних штамів [16—18]. В Україні випадки лістеріозу найчастіше були спричинені саме споживанням молока та молочних продуктів, що складає 41,8% із зафіксованих випадків, де продукція була контамінована *L. monocytogenes* [14, 19, 20, 21].

Харчові продукти, які зазнали мікробного забруднення під час обробки або зберігання, можуть також містити високий рівень біогенних амінів. Біогенні аміни — це низькомолекулярні органічні основи з аліфатичними, ароматичними та гетероциклічними структурами, які, зазвичай, зустрічаються в рибі, рибних продуктах, м'ясі, молочних продуктах, овочах, вині, сидру та пиві [22, 23]. Споживання зіпсованих харчових продуктів може спровокувати високі рівні накопичення біогенних амінів в організмі людини, а через їх важливість у фізіологічних процесах призводити до негативних наслідків для здоров'я [24].

З метою виробництва безпечних для життя та здоров'я харчових продуктів з га-

рантованими термінами зберігання, харчова промисловість використовує низку технологічних процесів, що вже стали традиційними, такі як охолодження, пастеризація, стерилізація, застосування органічних кислот, як доданий інгредієнт, так і отримані шляхом ферментації. Вживаються заходи для консервування продукції шляхом зменшення масової частки вологи або її зв'язуванні, внесенням консервуючих речовин. Сучасні пакувальне обладнання та матеріали дозволяють мінімізувати ризики вторинного обмінення готової продукції під час її фасування в споживчу тару.

Для знищення шкідливої та потенційно присутньої патогенної мікрофлори в молоті-сировині широко використовується тепла обробка. Ще Л. Пастер в другій половині XIX ст. довів, що високотемпературна обробка здатна знищувати більшість мікроорганізмів, які потенційно можуть зіпсувати харчові продукти. Встановлено, що пастеризація не знищує спори мікроорганізмів, а зафіксовані випадки присутності більшості патогенних штамів, таких як *Salmonella* або *L. monocytogenes*, в оброблених молочних продуктах часто є наслідком вторинного мікробного забруднення продукції. Таке забруднення відбувається, коли небажані мікроорганізми повторно потрапляють у вже пастеризований продукт через контакт із забрудненим обладнанням, упаковкою, працівниками виробничого підприємства тощо [25]. Отже, тепла обробка сировини або навіть готового продукту не може в повній мірі гарантувати безпечність і зберігання.

Зберігання харчових продуктів в охолодженому або замороженому стані здавна використовувалося для подовження її свіжості та придатності до вживання. Низькі температури гальмують біохімічні процеси метаболізму живих організмів, в тому числі мікробів. Також відомо, що для різних видів мікроорганізмів існують свої граничні температури, нижче яких вони не здатні розмножуватися. Наприклад, для штаму *Clostridium perfringens* граничною є температура 12 °C, для штамів роду *Salmonellae* та більшості молочнокислих бактерій — 5 °C, в той час як для деяких штамів дріжджів і плісняви гранична температура росту може становити -7 °C [26]. Як видно з наукових досліджень, неможливо за допомогою низької температури зберігання гарантувати відсутність розвитку всіх видів мікроорганізмів, а глибоке заморожування не може бути застосоване до багатьох видів продуктів харчування, зокрема ферментованих молочних продуктів, оскільки призведе до погіршення органолептичних, структурно-механічних і споживчих властивостей.

Для розвитку мікроорганізмів життєвою необхідністю є наявність води. Волога в харчовому продукті може знаходитись як у вільному, так і у зв'язаному стані. Для мікроорганізмів доступною для їх життєдіяльності є саме вільна волога. Значення показника активності води (a_w) в харчовому продукті характеризує рівень доступності вологи для росту і розмноження мікроорганізмів, присутніх у ньому. У 1953 році Вільям Джеймс Скотт з'ясував, що різні мікроорганізми мають різний граничний рівень активності води для росту, а сучасною наукою загально визнано, що показник a_w більш тісно пов'язаний з мікробіологічними та фізико-хімічними процесами в харчових продуктах, ніж загальна масова частка вологи в них [27]. Було запропоновано умовно згрупувати всі продукти харчування за значенням активності води в них на три категорії, а саме: продукти з низьким вмістом вологи, які мають показник активності води $a_w = 0,0—0,6$, з середніми значеннями вологи, де $a_w = 0,6—0,9$, та продукти високого вологовмісту з $a_w = 0,9—1,0$ [28]. Ферментовані молочні продукти за значеннями показника активності води можна віднести до продуктів високого вологовмісту. Додавання цукру, білків, гідкоколоїдів у рецептури ферментованих молочних продуктів лиш незначно може знизити значення показника a_w [29]. Мінімальне

значення a_w для більшості молочнокислих мікроорганізмів становить 0,95, для *Listeria monocytogenes* — 0,92, *Aspergillus flavus* — 0,80 [26]. Високі значення a_w у ферментованих молочних продуктах не можуть створювати перешкоди для розвитку в них широкого спектра мікроорганізмів, в тому числі патогенних.

Наявність у продукті кислоти також може гальмувати або унеможливити ріст мікроорганізмів. Сквашування молока молочнокислими мікроорганізмами історично використовувалося як своєрідний спосіб зберегти молоко як їжу саме завдяки утворенню в ньому молочної кислоти. Низькі значення активної кислотності (рН) є визначальним чинником для відсутності росту багатьох патогенних мікроорганізмів. Відомо, що при значеннях рН нижче 4,6 стає неможливим ріст *Clostridium botulinum*, нижче 4,4 — *Escherichia coli*, нижче 4,3 — *Listeria monocytogenes*, нижче 4,0 — *Staphylococcus aureus*. Однак такі мікроорганізми, як дріжджі, пліснява, є стійкими до високої кислотності, наприклад, штами *Saccharomyces cerevisiae* можуть розвиватись аж до досягнення значень активної кислотності 1,6 [30]. Тому ферментовані молочні продукти завдяки низьким значенням рН в них, з одного боку, є безпечними щодо багатьох патогенів, а з іншого — не є захищеними від псування дріжджами і пліснявою.

Показник окисно-відновного потенціалу (Eh) харчової системи характеризує її здатність до окислювальних або відновлювальних процесів, які, у свою чергу, тісно пов'язані з біохімічними процесами мікробного метаболізму. Зміну окисно-відновного потенціалу в мікробіології використовують при визначенні бактеріального забруднення молока, наприклад, у реакції з метиленовим синім. Цей показник також може бути використаний для оцінювання органолептичної якості молока, напоїв, консервів [31]. Вимірювання показника Eh в молоці дає змогу оцінити присутність розчиненого кисню, необхідного для життєдіяльності шкідливої аеробної психрофільної мікрофлори, наприклад, родів *Pseudomonas*, *Acinetobacter* та *Aeromonas* або згубного для пробіотичних *Bifidobacterium* [32—34]. Одним із інноваційних підходів до зниження вмісту розчиненого кисню в молоці є використання штамів молочнокислих мікроорганізмів *Lactococcus lactis*, які володіють вираженою здатністю опускати окисно-відновний потенціал Eh до значень -220 мВ завдяки споживанню кисню [35]. У виробництві ферментованих молочних продуктів зниження Eh молока-сировини може мати позитивний вплив завдяки нівелюванню активності анаеробної психрофільної мікрофлори, але не матиме інгібуючого ефекту на факультативно-анаеробні та анаеробні мікроорганізми, які потенційно можуть зіпсувати продукт.

Сучасні дослідження і розробки у сфері методів і технологій збереження харчових продуктів та їх консервування не обмежуються лише заморожуванням, охолодженням, сушінням, вакуумним пакуванням, пакуванням у модифікованій атмосфері, ферментацією та додаванням консервантів. Існують також інноваційні розробки, які засновані на застосуванні іонізуючого випромінювання, ультрависокого тиску, високоевольтного електричного розряду, ультразвукової обробки, а також використання харчових продуктах біологічних рішень на основі дії корисних мікроорганізмів [36].

Обробка деяких харчових продуктів високим гідростатичним тиском зарекомендувала себе як «пастеризації під тиском». До значень тиску 4000—6000 атмосфер є досить чутливими вегетативні форми бактерій, дріжджі та пліснява. Однією з переваг обробки продуктів таким методом є мінімальний вплив на смак та аромат продукції, які повністю зберігаються. Однак чутливість різноманітних мікроорганізмів до ультрависокого тиску не є однаковою та може суттєво варіюватися від штаму до штаму, а такі макромолекули в продукті, як білки та полісахариди, можуть зазнати значних

змін чи руйнування [36—38], тому цей методі застосовується досить обмежено, а технічна складність його виконання не дозволяє значно масштабувати об'єми продукції, яка обробляється.

До переліку інноваційних методів обробки сировини та продукції можна також віднести і обробку за допомогою ультразвуку. Відомі дослідження, які стверджують ефективність використання високочастотних звукових коливань при обробці таких молочних продуктів, як йогурти. Доведено покращення структури продукту, зменшення розмірів частинок завдяки впливу на мікроструктуру міцел казеїну [39]. Також відомо про те, що при досить високій інтенсивності обробка ультразвуком здатна інактивувати як вегетативні форми бактерії, так і знижувати термостійкість їх спор. Утворення мікроскопічних кавітаційних бульбашок при такій обробці є рушійним чинником знищення мікроорганізмів. Це надає можливість частково знижувати температури процесів теплової обробки, такі як пастеризація чи стерилізація. Глибоке вивчення фізики такого процесу підтверджує перспективність його застосування в комбінації з високим тиском, оскільки ефективність кавітаційних бульбашок має тенденцію до відносного зменшення при підвищенні температури [36, 40].

Ще один із інноваційних методів знищення мікроорганізмів — обробка високоінтенсивними змінними магнітними полями. Така обробка, як правило, використовує надвисокі напруженості магнітного поля, зазвичай, від 2 до 100 Тесла, з частотою 5—500 кГц і триває досить короткий проміжок часу, який становить від кількох мілісекунд. Однак результати зменшення концентрації мікроорганізмів у молоці, на прикладі штамів *Streptococcus thermophilus*, показали лиш незначне зменшення кількості мікроорганізмів, в межах двох порядків. Звідки зроблено висновок про обмеженість практичного застосування даного методу обробки [36, 41, 42].

Суттєво кращі результати демонструє такий інноваційний метод обробки, як використання іонізуючого опромінення. Такий метод заснований на дії гамма-випромінювання, наприклад, від ізотопів ^{60}Co , ^{137}Sc , опромінення потоком високоенергетичних електронів, рентгенівських променів у контрольованому середовищі. Ці способи обробки харчової сировини та продукції схвалені до використання Всесвітньою організацією з охорони здоров'я як такі, що не мають токсикологічних чи інших небезпек, пов'язаних з високими дозами опромінення. Зазвичай, такі дози іонізуючого випромінювання становлять до 10 кГр. Підтверджена висока ефективність цього методу для запобігання харчових отруєнь шляхом усунення таких патогенних штамів, як *Salmonella* та *Campylobacter* для продуктів тваринного походження та морепродуктів [36, 43]. Дослідження застосування опромінення у виробництві йогуртів показують можливість подовження терміну зберігання, покращення безпечності, адже не спостерігаються зміни в хімічному складі, зберігаються органолептичні характеристики продукту [44]. Стерилізуюча дія рентгенівського опромінення застосовується для функціональних молочних продуктів з вмістом ультрадисперсних порошків буряка, обробка яких традиційними методами неприпустима через руйнування цінних компонентів таких добавок [45]. Зручний контроль геометричної зони опромінення і точна корекція дози роблять такі технології достатньо простими у використанні та мають потенціал до ширшого впровадження в харчовій галузі, особливо там, де традиційні методи мають обмежені можливості через вплив на хімічний склад продукту та його споживчі властивості. Однак наразі довіра споживача до процесів радіоактивного опромінення достатньо низька і суттєво гальмує впровадження таких технологій у різних країнах світу.

Серед інноваційних методів покращення безпечності, а також подовження термінів зберігання ферментованих харчових продуктів останнім часом все більшої ваги набуває застосування дії корисних мікроорганізмів. Використання так званих біозахисних культур разом з основними стартовими заквасками все більше відіграє ключову роль у виробництві ферментованих молочних продуктів і сирів. Такий фактор, як конкуруюча мікрофлора, здатний виступати ефективною перешкодою проти росту дріжджів ті плісняви, штами яких стійкі до низької кислотності, можуть розвиватися при низьких температурах, а спори виживають при термічній обробці. Численні дослідження підтверджують протигрибкові властивості окремих штамів таких молочнокислих мікроорганізмів, як *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus harbinensis* проти видів *Debaryomyces hansenii*, *Rhodotorula mucilaginosa*, *Yarrowia lipolitica*, *Penicillium brevicomp*, *Kluveromyces lactis*, *Kluveromyces marxianus* [46—48]. Інноваційні розробки культур прямого внесення для захисту готових молочних продуктів від псування, спричиненого сторонніми дріжджами та пліснявою, мають підтверджену ефективність і захищені міжнародними патентами [49, 50]. В той же час конкуруюча мікрофлора не може замінити собою застосування пастеризації сировини для знищення потенційно присутніх патогенів, санітарно-гігієнічні заходи на харчовому виробництві або дозволити зберігати вироблений з допомогою біозахисних культур ферментований продукт без охолодження тривалий час.

Кожен із відомих традиційних, а також інноваційних методів, прийомів чи технологічних операцій для обробки сировини та готової продукції має низку власних переваг і недоліків для їх застосування у виробництві ферментованих молочних продуктів з метою гарантування безпечності продукції та подовження термінів зберігання (див. табл.).

Таблиця. Переваги і недоліки деяких традиційних та інноваційних технологічних прийомів у виробництві ферментованих молочних продуктів

Назва методу	Переваги	Недоліки
Охолодження	Гальмування росту більшості мікроорганізмів, простота у використанні методу	Психрофільна мікрофлора, дріжджі і пліснява можуть розвиватися у сировині чи готовому продукті при низьких температурах
Заморожування	Гальмування росту мікроорганізмів при глибокому заморожуванні	Енергозатратність і складність методу, руйнування структури ферментованих молочних продуктів
Пастеризація	Знищення вегетативних форм бактерій, в т. ч. патогенів	Метод практично застосовується лише для молока-сировини, не знищуються спори
Термізація	Знищення переважної більшості вегетативних форм бактерій, в т. ч. молочнокислих при обробці готових виробів	Продукт потенційно може змінити структуру та смак, неможливість збереження корисних бактерій, наприклад, пробіотиків
Додавання консервантів	Гальмування росту значної кількості мікроорганізмів, простота використання методу	Законодавча обмеженість застосування та граничних концентрацій. Негативний вплив на корисну мікрофлору заквасок, втрата продукцією статусу натуральності
Обробка ультразвуком	Знищення вегетативних форм бактерій, дріжджів і плісняви, мінімальний вплив на смак та аромат	Технічна складність методу, неможливість масштабування, значний вплив на макромолекули білків і полісахаридів

Продовження таблиці

Обробка ультразвуком	Знищення вегетативних форм бактерій, зниження термостійкості спор, покращення текстури ферментованих молочних продуктів	Залежність ефективності методу від значень температур і тиску, потребує доповнення із обробкою тиском та високою температурою
Іонізуюче опромінення	Висока ефективність у знищенні мікроорганізмів. Альтернатива тепловим методам через можливість збереження цінних компонентів продукції	Неможливість застосування до готових ферментованих молочних продуктів із «живою» мікрофлорою. Низька довіра споживачів до радіоактивних методів обробки
Дія біозахисних культур	Зручність у застосуванні в звичайному процесі ферментації. Селективна дія на шкідливу мікрофлору	Не забезпечують знищення потенційно присутніх патогенів, потребує комбінації із тепловою обробкою сировини

Як видно із наведеного порівняння, кожен із методів, незважаючи на очевидні переваги, а для деяких на відносну простоту застосування, потребує доповнення або комбінування з іншими прийомами для того, щоб кінцевий продукт гарантовано не містив шкідливої, небезпечної мікрофлори та міг бути збережений тривалий час без псування.

У 1978 році німецький вчений, професор Лотар Ляйтнер ввів поняття «бар'єрів» та «бар'єрного ефекту», описуючи перелік тих факторів, які створюють перешкоди розвитку небажаної та шкідливої мікрофлори для розвитку й розмноження в продуктах. Така термінологія максимально повно відобразила значимість і синергетичний вплив різноманітних факторів на зберігання продуктів харчування, її якість і безпечність. До таких бар'єрів Ляйтнер відніс високу температуру (F), охолодження (t), активність води (a_w), активну кислотність (pH), окисно-відновний потенціал (Eh), консерванти (pres), вітаміни (V), нутрієнти (N), конкуруючу мікрофлору (c. f.) [12].

Кожен із бар'єрів, який створює перешкоду для росту і розмноження певного роду мікроорганізмів, згідно з твердженням Л. Ляйтнера, може бути поєднаний із рядом інших бар'єрів, типових для того чи іншого харчового продукту. Таким чином, комплексне поєднання кількох бар'єрів, які доповнюють і підсилюють дію один одного, в результаті дає синергетичний ефект для збереженості продукції [12].

Серед відомих та інноваційних технологічних методів, для їх комбінування з метою отримання синергетичного ефекту різноманітних бар'єрів, у виробництві ферментованих молочних продуктів доцільно застосовувати такі традиційні, як охолодження та пастеризація, а також перспективний інноваційний на основі застосування культур прямого внесення з біозахисними штамами. Так можна досягти поєднання таких бар'єрів, як охолодження, висока температура, активна кислотність, окисно-відновний потенціал, нутрієнти, конкуруюча мікрофлора. Ферментовані молочні продукти, які будуть вироблені з використанням бар'єрних технологій на основі перерахованих вище бар'єрів, відповідатимуть трендам ринку щодо натуральності та статусу продукції «чиста етикетка».

Висновки. Проведено літературний аналіз сучасних підходів і технологій обробки сировини та їх вплив на якість, безпечність і терміни придатності ферментованих молочних продуктів. Встановлено, що застосування бар'єрних технологій у виробництві ферментованих молочних продуктів є перспективним напрямком, який поєднує застосування традиційних та інноваційних факторів, що перешкоджатимуть ро-

сту патогенної і шкідливої мікрофлори та сприятимуть подовженню термінів придатності готової продукції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Асоціація ритейлерів України. Що входить в споживчий кошик українця: реальний стан та соціальні виклики. URL: <https://rau.ua/advertising-experience-uk/shho-vhodit-v-spozhyvchij-koshik-ukraincja-realnij-stan-ta-socialni-vikliki/> (дата звернення 23.07.2025).
2. Кабінет Міністрів України. Постанова від 11 жовтня 2016 р. № 780 «Про затвердження наборів продуктів харчування, наборів непродовольчих товарів та наборів послуг для основних соціальних і демографічних груп населення». URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/249464422> (дата звернення 23.07.2025).
3. European Comission. About Food Waste. URL: https://food.ec.europa.eu/food-safety/food-waste_en (дата звернення 14.07.2025).
4. Eurostat. Food waste and food waste prevention — estimates. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Food_waste_and_food_waste_prevention_-_estimates (дата звернення 14.07.2025).
5. Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2008/98/EC on waste. URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:1fefebb0-1b4e-11ee-806b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_5&format=PDF (дата звернення 14.07.2025).
6. UN Environment Programme. Food Waste Index Report 2024. URL: <https://www.unep.org/resources/publication/food-waste-index-report-2024> (дата звернення 14.07.2025).
7. UN Environment Programme. Food Waste Index Report 2024. Think Eat Save: Tracking Progress to Halve Global Food Waste. URL: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/45230> (дата звернення 14.07.2025).
8. Оцінка політик щодо втрат та відходів харчових продуктів в Україні. URL: <https://dpss.gov.ua/storage/app/sites/12/uploaded-files/ifc-otsinka-politik-shchodo-vtrat-ta-vidkhodiv-kharchovikh-produktiv-v-ukraini.pdf> (дата звернення 14.07.2025).
9. Key Trends in Food, Nutrition and Health 2025. URL: <https://www.new-nutrition.com/keytrend?id=344> (дата звернення 10.12.2024).
10. Top Food Trends 2025. URL: <https://www.innovamarketinsights.com/trends/top-food-trends-2025/> (дата звернення 10.12.2024).
11. Global Food and Drink Trends 2025. URL: <https://www.mintel.com/insights/food-and-drink/global-food-and-drink-trends/> (дата звернення 10.12.2024).
12. Pujato, S. A., Quiberoni, A. D. L., & Guglielmotti, D. M. (2022). Characterization of bacteriocins produced by lactic acid bacteria of industrial interest. *Biomolecules from Natural Sources: Advances and Applications*, 45869.
13. Kerry Health and Nutrition Institute. Ten Key Health and Nutrition Trends for 2025. URL: <https://khni.kerry.com/trends-and-insights/ten-key-health-and-nutrition-trends-of-this-year/> (дата звернення 14.07.2025).
14. Щербаківа, Н. С., Медвідь, О. О., & Передера, С. Б. (2025). *Listeria innocua*, як потенційний патоген харчових інфекцій. *Scientific Progress & Innovations*, 28(1), 249—253.
15. Shamloo, E., Hosseini, H., Moghadam, Z. A., Larsen, M. H., Haslberger, A., & Alebouyeh, M. (2019). Importance of *Listeria monocytogenes* in food safety: a review of its prevalence, detection, and antibiotic resistance. *Iranian journal of veterinary research*, 20(4), 241.
16. Costa, A., Lourenco, A., Civera, T., & Brito, L. (2018). *Listeria innocua* and *Listeria monocytogenes* strains from dairy plants behave similarly in biofilm sanitizer testing. *LWT*, 92, 477—483.
17. Kagkli, D.-M., Iliopoulos, V., Stergiou, V., Lazaridou, A., & Nychas, G.-J. (2009). Differential *Listeria monocytogenes* strain survival and growth in Katiki, a traditional Greek soft Cheese, at different storage temperatures. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(11), 3621—3626.
18. Da Silva, E. P., & de Martinis, E. C. P. (2013). Current knowledge and perspectives on biofilm formation: the case of *Listeria monocytogenes*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(3), 957—968.
19. Krasovskij, V. V., Vasil'ev, N. V., & Derkach, N. A. (2000). Outcomes of listeriosis 5-years study in Ukraine. *Microbiological Journal*, 3, 80—85.

20. Belessi, C. I. A., Papanikolaou, S., Drosinos, E. H., & Skandamis, P. N. (2008). Survival and acid resistance of *Listeria innocua* in Feta cheese and yogurt, in the presence or absence of fungi. *Journal of food protection*, 71(4), 742—749.
21. Orsi, R. H., & Wiedmann, M. (2016). Characteristics and distribution of *Listeria* spp., including *Listeria* species newly described since 2009. *Applied microbiology and biotechnology*, 100(12), 5273—5287.
22. Suzzi, G., and Gardini, F. (2003). Biogenic amines in dry fermented sausages: a review. *Int. J. Food Microbiol.*, 88, 41—54.
23. Spano, G., Russo, P., Lonvaud-Funel, A., Lucas, P., Alexandre, H., Grandvalet, C., Coton, E., Coton, M., Barnavon, L., Bach, B., Rattray, F., Bunte, A., Magni, C., Ladero, V., Alvarez, M., Fernández, M., Lopez, P., de Palencia, P. F., Corbi, A., Trip, H., and Lolkema, J. S. (2010). Biogenic amines in fermented foods. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 64, 95—100.
24. Russo, P., Spano, G., Arena, M. P., Capozzi, V., Grieco, F., and Beneduce, L. (2010). Are consumers aware of the risks related to biogenic amines in food? *Curr. Res. Technol. Educ. Top. Appl. Microbiol. Microb. Biotechnol.*, 2, 1087—1095.
25. Boor, K. J. (2001). ADSA foundation scholar award fluid dairy product quality and safety: looking to the future. *Journal of Dairy Science*, 84(1), 1—11.
26. Russell, N. J., & Gould, G. W. (2003). *Major preservation technologies*. In Food preservatives (pp. 14—24). Boston, MA: Springer US.
27. Barbosa-Cánovas, G. V., Fontana Jr, A. J., Schmidt, S. J., & Labuza, T. P. (Eds.). (2020). *Water activity in foods: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons.
28. Leistner, L. (1990). *Fermented and intermediate moisture products*. In Proceedings of 36th international congress of meat science and technology (pp. 842—855).
29. Brodziak, A., Król, J., Barłowska, J., Teter, A., & Florek, M. (2020). Changes in the physicochemical parameters of yoghurts with added whey protein in relation to the starter bacteria strains and storage time. *Animals*, 10(8), 1350.
30. Leistner, L., & Gould, G. W. (2002). *Hurdle Technologies: Combination Treatments for Food Stability, Safety and Quality: Combination Treatments for Food Stability, Safety, and Quality*. Springer Science & Business Media.
31. Schreyer, A., Britten, M., Chapuzet, J. M., Lessard, J., & Bazinet, L. (2008). Electrochemical modification of the redox potential of different milk products and its evolution during storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(3), 255—264.
32. Bolduc, M. P., Raymond, Y., Fustier, P., Champagne, C. P., & Vuilleumard, J. C. (2006). Sensitivity of bifidobacteria to oxygen and redox potential in non-fermented pasteurized milk. *International Dairy Journal*, 16(9), 1038—1048.
33. Jayamanne, V. S., & Adams, M. R. (2009). Modelling the effects of pH, storage temperature and redox potential (Eh) on the survival of bifidobacteria in fermented milk. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(6), 1131—1138.
34. Raats, D., Offek, M., Minz, D., & Halpern, M. (2011). Molecular analysis of bacterial communities in raw cow milk and the impact of refrigeration on its structure and dynamics. *Food microbiology*, 28(3), 465—471.
35. Tachon, S., Brandsma, J. B., & Yvon, M. (2010). NoxE NADH oxidase and the electron transport chain are responsible for the ability of *Lactococcus lactis* to decrease the redox potential of milk. *Applied and environmental microbiology*, 76(5), 1311—1319.
36. Gould, G. W. (2000). Preservation: past, present and future. *British medical bulletin*, 56(1), 84—96.
37. Ledward, D. A., Johnston, D. E., Earnshaw, R. G., Hasting, A. P. M. (Eds.). *High Pressure Processing of Foods*. Nottingham: Nottingham University Press, 1995.
38. Yordanov, D. G., & Angelova, G. V. (2010). High pressure processing for foods preserving. *Bio-technology & Biotechnological Equipment*, 24(3), 1940—1945.
39. Tabatabaie, F., Mortazavi, A., and Ebadi Abdol Ghaffar, F. (2009). Effect of Power Ultrasound and Microstructure Change of Casein Micelle in Yoghurt. *Asian Journal of Chemistry*, 21, 1589—1594.
40. Sala, F. J., Burgos, J., Condon, S., Lopez, P., & Raso, J. (1995). *Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes*. In New methods of food preservation (pp. 176—204). Boston, MA: Springer US.
41. Hoffman, G. A. (1985). Inactivation of microorganisms by an oscillating magnetic field. US Patent. 4,524,079 and Int Patent 1985 WO85/02094.

42. Barbosa-Canovas, G. V., Pothakamury, U. R., Swanson, B. G. (1995). *State of the art technologies for the sterilization of foods by non-thermal processes: physical methods*. In: Barbosa-Canovas G. V., Welin-Chanes J. (Eds). *Food Preservation by Moisture Control: Fundamentals and Applications*. Lancaster, PA Technomic, 493—532.

43. Patterson, M., Loaharanu, P. (2000). *Food irradiation*. In: Lund B. M., Baird-Parker A. C., Gould G. W. (Eds). *The Microbiological Safety and Quality of Foods*. Gaithersburg, MD: Aspen, 65—1002.

44. Ham, J. S., Jeong, S. G., Lee, S. G., Han, G. S., Jang, A., Yoo, Y. M., ..., & Jo, C. (2009). Quality of irradiated plain yogurt during storage at different temperatures. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(2), 289—295.

45. Samilyk, M. M., Gelih, A. O., Kalinkevich, O. V., Bolgova, N. V., Shelest, I. V., Trofimenko, Y. V., ..., & Kalinkevich, A. (2020, November). Radiomodifying effect of X-ray radiation on microflora of yogurts with ultradisperse powders of beta vulgaris. In 2020 IEEE 10th International Conference Nanomaterials: *Applications & Properties (NAP)* (pp. 02IT05-1). IEEE.

46. Aunbjerg, S. D., Honoré, A. H., Marcussen, J., Ebrahimi, P., Vogensen, F. K., Benfeldt, C., ..., & Knøchel, S. (2015). Contribution of volatiles to the antifungal effect of *Lactobacillus paracasei* in defined medium and yogurt. *International journal of food microbiology*, 194, 46—53.

47. Delavenne, E., Cliquet, S., Trunet, C., Barbier, G., Mounier, J., & Le Blay, G. (2015). Characterization of the antifungal activity of *Lactobacillus harbinensis* K. V9. 3.1 Np and *Lactobacillus rhamnosus* K. C8. 3.1 I in yogurt. *Food microbiology*, 45, 10—17.

48. Fernandez, B., Vimont, A., Desfossés-Foucault, É., Daga, M., Arora, G., & Fliss, I. (2017). Antifungal activity of lactic and propionic acid bacteria and their potential as protective culture in cottage cheese. *Food Control*, 78, 350—356.

49. Hornbaek, T., Lisberg, M., and Diemer, S. K. (2014). Synergistic Antimicrobial Effect. U. S. Patent Application No. 14/110,388 1. U.S. Patent and Trademark Office.

50. Hornbaek, T., Lisberg, M., & Diemer, S. K. (2018). U. S. Patent No. 10,059,919. Washington, DC: U. S. Patent and Trademark Office.

УДК 663.5, 663.6

INFLUENCE OF THE COMPONENT COMPOSITION OF TINTINGS ON THEIR STABILITY

S. Oliinyk¹, O. Ostryk¹, V. Kovalchuk², R. Kyrylenko¹¹National University of Food Technologies²State Scientific Institution "Ukrainian Research Institute of Alcohol and Biotechnology of Food Products"

Key words:

liquor and vodka production, tincture, sediments, turbidity, microcomponent composition, stability

Article history:

Received 01.08.2025

Received in revised form

15.08.2025

Accepted 21.08.2025

Corresponding author:

lana_ol@ukr.net

ABSTRACT

The article examines the reasons that can lead to a deterioration in the stability of alcoholic beverages and a decrease in their suitability for consumption.

During the development of new and production of various types of alcoholic beverages, it is important to use raw materials, ingredients and semi-finished products that provide long-term physicochemical, microbiological and sensory stability. These types of stability are crucial for beverages with a long shelf life. In alcoholic beverages, rectified ethyl alcohol and prepared water interact with many ingredients and semi-finished products obtained from fruit and berry raw materials, alcoholic juices, extracts, fruit drinks, alcoholic infusions obtained from plant raw materials, which often leads to the formation of sediment and significant color changes.

For research, industrial samples of tinctures containing turbidity, inclusions and sediments were used, tinctures without changes in appearance and cationic-anionic composition served as control samples. Tinctures were made on the basis of alcoholic fruit drinks from fruit and berry raw materials, alcoholic infusions from plant raw materials, alcoholic juices.

It was established that the component composition of the sediments of the studied tincture samples is represented by ions of calcium, magnesium, sodium, potassium, iron, phosphates, sulfates, silicates, chlorides, as well as compounds: protein, phenolic, pectin, coloring.

It was determined that one of the reasons for the formation of turbidity and precipitation is the use of prepared water with limiting values of hardness, iron, sulfates. The presence of silicates in the sediment of tinctures indicates the destruction of the glass of glass bottles and their high chemical corrosion.

The formation of turbidity and sediment is associated with the presence of pectin substances and protein and phenolic compounds in fruit drinks and infusions, the use of prepared water with limit values of physicochemical indicators, the methods used for preparing and processing blends, and the use of unstable containers for bottling infusions.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-12

ВПЛИВ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ НАСТОЯНОК НА ЇХ СТАБІЛЬНІСТЬ

С. І. Олійник, канд. техн. наук, ORCID ID 0000-0003-1528-6542

О. М. Острик, ORCID ID 0009-0003-3919-8544

Національний університет харчових технологій

В. П. Ковальчук, канд. техн. наук

Державна наукова установа «Український науково-дослідний інститут спирту і біотехнології продовольчих продуктів»

Р. Г. Кириленко, канд. техн. наук, ORCID ID 0000-0003-3263-1950

Національний університет харчових технологій

У готових лікєро-горілчаних напоях може змінюватись зовнішній вигляд, утворюватися помутніння та осад, втрачатися товарний вигляд під час зберігання.

Досліджено зразки готових настоянок, які було виготовлено на основі морсів і настоїв спиртових. Встановлено, що компонентний склад осадів досліджуваних зразків представлений катіонно-аніонним складом, а також сполуками: білковими, фенольними, пектиновими, барвними.

Утворення помутнінь та осадів пов'язано з наявністю пектинових речовин, сполуками білкової та фенольної природи у напівфабрикатах із застосовуваними способами приготування, оброблення купажів та тарою для розливу настоянок.

Ключові слова: *лікєро-горілчане виробництво, настоянка, осад, помутніння, мікрокомпонентний склад, стабільність.*

Огляд останніх досліджень і публікацій. Відповідно до чинного законодавства не можуть перебувати в обороті харчові продукти, які мають ознаки недоброякісності. Одним з основних завдань під час виробництва спиртних напоїв є підвищення стабільності готової продукції під час зберігання та збільшення терміну придатності до споживання. Під час тривалого зберігання в готових напоях можуть утворюватись різні види помутнінь, і вони при цьому втрачають товарний вигляд.

Питанням покращання якості та стійкості лікєро-горілчаних напоїв присвячені праці М. П. Бодака [1], М. П. Головка [2], О. В. Кузьміна [3], М. Tabaszewska [4], Е. Leonarski [5], Asako Horinishi [6], Mateusz Rózsanski [7, 8], I. T. Karabegovic [9, 10] та інших [11—13].

Сумлінні виробники алкогольної продукції значну увагу приділяють якості підготовленої води — одного з найважливіших сировинних компонентів напоїв. Вони дотримуються всіх вимог до якості підготовленої води, яка має вплив на розчинність, гомогенізацію інгредієнтів купажу та стабільність готових напоїв. Також стабільність лікєро-горілчаних напоїв безпосередньо залежить від якісних характеристик основних складових рецептури: інгредієнтів, сировини та напівфабрикатів [14—18].

Унаслідок високого вмісту спирту і цукру лікєро-горілчані напої не є схильними до помутнінь біологічного характеру. Однак у них можуть виникати помутніння фізико-хімічного характеру: білкові, фенольні, металеві, полісахаридні та ін. [2, 3, 7, 18].

Велике значення для стабільності лікєро-горілчаних напоїв має катіонно-аніонний склад та наявність органічних домішок у підготовленій воді. Іони кальцію визначають повноту смаку, гідрокарбонати кальцію пом'якшують смак і зменшують пекучість міцних алкогольних напоїв. Однак масова концентрація катіонів кальцію

та магнію суворо регламентується, а її перевищення призводить до підвищення концентрації карбонату кальцію та магнію і, як наслідок, до випадання осаду [3, 18] в готових напоях під час зберігання.

Присутність органічних, азотовмісних речовин і кисню в підготовленій воді негативно впливає на органолептичні властивості як підготовленої води, так і напоїв, приготованих на її основі, що сприяє утворенню опалесценції і каламуті, призводить до утворення осадів та зменшення стійкості готової продукції під час зберігання [2, 3].

Лікero-горілчані напої, до складу яких входять спиртовані соки, морси спиртовані із свіжої та сушеної плодово-ягідної сировини, настої спиртові із свіжої та сушеної рослинної сировини, є складними колоїдними системами, рівновага яких може порушуватись під час приготування та зберігання в разі зміни зовнішніх факторів [3, 7—9].

Використання напівфабрикатів і підготовленої води з підвищеним вмістом заліза і марганцю призводить до:

- змінювання кольору та інтенсивності забарвлення напоїв;
- утворення каламутей та опалесценції;
- набуття неприємного металевого присмаку;
- зменшення стабільності готової продукції з випаданням у осад чорно-бурих пластівців.

Іони заліза, марганцю, алюмінію, міді утворюють комплексні сполуки з моно- та дисахаридами, фенольними сполуками, амінокислотами соків спиртованих, екстрактів і морсів спиртових із плодово-ягідної сировини, настоїв спиртових рослинної сировини та викликають зміну зовнішнього вигляду напоїв, їх вицвітання і потемніння, утворення осаду [3, 7, 17].

Під час фільтрування напоїв із застосуванням фільтрувального картону, без його додаткового оброблення, спостерігається вимивання сполук кальцію, магнію, заліза, сульфатів, які чинять каталізуючу дію на утворення каламутей, зважених часток у напівфабрикатах, купажах лікero-горілчанних напоїв і готовій продукції. За певних умов середовища кальцій утворює комплекси з пектиновими речовинами, що переходять у морси та настої під час їх приготування [2, 3, 17].

Антиоксидантна активність, загальний вміст фенольних і флавоноїдних сполук, їх антиоксидантна ефективність, антибактеріальна та протигрибкова активність залежать від умов і тривалості зберігання напоїв, приготованих на основі рослинної сировини [7, 8].

На стабільність лікero-горілчанних напоїв під час їх зберігання значно впливає якість скляних пляшок, у які розливають готову продукцію. Використання неякісної скляної тари, що не відповідає вимогам за показниками хімічної стійкості та водостійкості, може призводити до вилугування компонентів скла та їх подальшого переходу в алкогольний напій з утворенням осаду. Під час зберігання лікero-горілчанних напоїв цілісність поверхні скла порушується, відбуваються незворотні процеси, які призводять до нестабільності системи зі збільшенням у напоях масової концентрації іонів кальцію, кальцію, натрію, сульфатів, силкатів [3].

Виявлення причин появи помутнінь і осадів є важливим та актуальним завданням для тривалого зберігання лікero-горілчанних напоїв.

Визначення масових концентрацій катіонів (кальцію, магнію, калію, натрію, заліза, марганцю, алюмінію, міді) та аніонів (сульфатів, хлоридів, фосфатів, азотовмісних сполук), білкових, фенольних, барвних, пектинових речовин дає змогу ефективно контролювати технологічний процес виробництва високоякісної продукції.

Метою дослідження є вивчення мікроелементного складу лікєро-горілочаних напоїв для виявлення можливих причин змін зовнішнього вигляду, утворення каламутей і осадів у готовій продукції під час її зберігання протягом 6 місяців.

Матеріали і методи. Для дослідження було відібрано промислові зразки настоянок, що містили помутніння, включення й осад, а також контрольні зразки настоянок без осаду, які за органолептичними та фізико-хімічними показниками відповідали вимогам чинного національного стандарту ДСТУ 4257:2021.

Органолептичні та фізико-хімічні показники напоїв визначали згідно з ДСТУ 4164:2003, катіонно-аніонний склад — капілярно-форетичним методом із використанням системи капілярного електрофорезу «Капель» згідно з ДСТУ 4801:2007 і ДСТУ 4932:2007, масову концентрацію заліза — фотоелектроколориметричним методом згідно з ДСТУ 4066-2002, поліфенольних речовин — спектрофотометричним методом згідно з ДСТУ 4373:2005, фенольних речовин — фотоколориметричним методом згідно з ДСТУ 4112.41:2003.

Визначення хімічної корозії та водостійкості скляних пляшок, у які було здійснено налив настоянок, здійснювали згідно з ДСТУ 10117.1:2003.

Під час досліджень застосовували також методи статистичного аналізу й оброблення результатів.

Результати досліджень. Досліджено катіонний і аніонний склад настоянок, приготованих на основі напівфабрикатів рослинної та плодово-ягідної сировини з наявністю помутнінь і осаду та без них. Згідно з вимогами ДСТУ 4257:2021 строк придатності напоїв лікєро-горілочаних встановлює виробник або розробник рецептури і зазначає його в рецептурах або технологічних інструкціях на виробництво напоїв лікєро-горілочаних. Виробником у рецептурах на приготування досліджуваних настоянок було зазначено, що їх мінімальний термін придатності становить 6 місяців.

Катіонний склад досліджуваних зразків настоянок представлений в основному катіонами натрію, калію, кальцію і магнію та аніонами фторидів, хлоридів, нітратів, фосфатів та сульфатів (табл. 1).

Таблиця 1. Масова концентрація катіонів у настоянках (n=3; P≥0,95)

Назва настоянки	Наявність осаду у зразку		Масова концентрація, мг/дм ³					
			кальцію	магнію	натрію	калію	заліза	амонію
Вишнівка	вихідному	без осаду та каламутей	20,3±1,0	40,9±2,0	21±1,0	215±20	7,5±0,5	2±0,2
	після зберігання	значний осад темно-бурого забарвлення	9±0,9	22,0±2,0	7,1±0,7	23,0±1,0	3,6±0,5	2,5±3
Медова з перцем	вихідному	без осаду та каламутей	6,8±0,7	6,5±0,7	6,5±0,7	12,8±1,2	5,5±0,6	1,0±0,1
	після зберігання	значний пластівцевий осад коричнево-бурого кольору	1,8±0,2	1,2±0,2	1,2±0,2	1,5±0,2	3,8±0,4	1,3±0,2
Горобина на коньяку	вихідному	без осаду та каламутей	9,2±1	10±1	40±4	71±7	9,7±1	0,5±0,05
	після зберігання	значний осад у вигляді пластівців	5±0,5	6±0,6	10,5±1,0	12±0,1	1,5±2	1,5±0,2

		світлого коричнево- жовтого кольору						
--	--	--	--	--	--	--	--	--

Продовження таблиці 1

Медовуха з хроном	вихідному	без осаду та каламутей	22±2	4,5±0,5	13±1,3	5±0,5	5,5±0,6	2,2±0,3
	після зберігання	дрібний осад у вигляді пластівців жовтого кольору	4,5±0,5	1,5±0,2	4,5±0,5	0,8±0,1	1,2±0,2	2,5±0,2

Масові концентрації досліджуваних іонів коливаються в широких межах, що пояснюється багатим мікроелементним складом рослинних компонентів, специфікою рецептур та особливостями роботи складових блоків водопідготовки на виробництві.

Виявлено, що у зразках з осадом після зберігання масова концентрація катіонів кальцію, магнію, натрію, калію та заліза була значно нижча за вмістом:

- кальцію для настоянок «Вишнівка» та «Горобина на коньяку» — у 1,8—2,2 раза, «Медова з перцем» і «Медовуха з хроном» — у 3,8—4,9 раза;

- магнію для настоянок «Вишнівка» та «Горобина на коньяку» — у 1,7—1,8 раза, «Медова з перцем» — у 5,4 раза та «Медовуха з хроном» — у 3 рази;

- натрію для настоянок «Вишнівка» та «Медовуха з хроном» у 3 рази, «Горобина на коньяку» — у 4 рази, «Медова з перцем» — у 5,4 раза;

- калію для настоянки «Вишнівка» — у 10 разів, «Медова з перцем», «Горобина на коньяку» та «Медовуха з хроном» — у 6—8 разів;

- заліза для настоянки «Вишнівка» — у 15 разів, «Медова з перцем» — у 1,5 раза, «Горобина на коньяку» та «Медовуха з хроном» — у 4—7 разів.

У всіх зразках настоянок за масовою концентрацією аміаку спостерігали відхилення в межах похибки досліджень.

Значне зменшення масових концентрацій кальцію, магнію, калію, натрію, заліза може бути обумовлено тим, що перераховані катіони випали в осад. Крім того, колір осаду свідчить про з'єднання металів з фенольними речовинами компонентів настоянки.

Аніонний склад напоїв представлений у табл. 2.

Таблиця 2. Масова концентрація аніонів у настоянках (n=3; P≥0,95)

Назва настоян- ки	Наявність осаду у зразку		Масова концентрація, мг/дм ³					
			сульфати	фосфати	хлориди	нітрати	силікати	фториди
Вишнівка	вихідному	без осаду та каламу- тей	369±40	40±4,0	12±1,2	3,2±0,3	12±1,2	24±2,4
	після зберігання	значний осад тем- но-бурого забарвлен- ня	189±20	23±2,3	7±0,2	1,2±0,1	4±0,4	14±1,4

Медова з перцем	вихідному	без осаду та каламутей	2,5±0,3	0,4±0,04	1,9±0,2	0,6±0,06	9±1,0	1,1±0,07
-----------------	-----------	------------------------	---------	----------	---------	----------	-------	----------

Продовження таблиці 2

	після зберігання	значний пластівцевий осад коричнево-бурого кольору	1,3±0,1	0,3±0,03	1,4±0,2	0,4±0,04	5±0,5	0,7±0,07
Горобина на коньяку	вихідному	без осаду та каламутей	128±13	70±7	6,5±0,7	0,7±0,07	15±1,5	11±1,1
	після зберігання	значний осад у вигляді пластівців світлого коричнево-жовтого кольору	65±7	38±4	4,5±0,5	0,5±0,05	4,5±0,5	6,5±0,7
Медовуха з хроном	вихідному	без осаду та каламутей	5,2±0,5	1,5±0,2	2,3±0,2	1,6±0,2	13,6±1,4	0,8±0,08
	після зберігання	дрібний осад у вигляді пластівців жовтого кольору	1,9±0,2	0,4±0,04	0,6±0,06	0,8±0,08	3,8±0,4	0,6±0,06

Результати, подані у табл. 2, показують, що практично всі аніони впливають на формування осаду, причому в різних настоянках різною мірою, що, можливо, залежить від хімічного складу компонентів напоїв.

Встановлено, що у зразках з осадом після зберігання масова концентрація досліджуваних аніонів була значно нижча за вмістом:

- сульфатів — у 1,9—2,7 раза;
- фосфатів для настоянки «Медова з перцем» — у 1,4 раза, «Горобина на коньяку» та «Вишнівка» — у 1,8—2 рази, «Медова з хроном» у 3,7 раза;
- хлоридів для настоянок «Медова з перцем» та «Горобина на коньяку» — у 1,4 раза, «Вишнівка» — у 2 рази, «Медова з хроном» у 3,8 раза;
- нітратів для настоянок «Медова з перцем» та «Горобина на коньяку» — у 1,4—1,5 раза, «Вишнівка» — у 2,6 раза, «Медова з хроном» — у 2 рази;
- силікатів для настоянки «Медова з перцем» — у 1,8 раза, для інших настоянок — у 3—3,6 раза;
- фосфатів для всіх зразків досліджуваних настоянок — у 1,3—1,7 раза.

На дні пляшок з настоянками «Вишнівка» та «Горобина на коньяку» спостерігали осад, який легко змучувався, верхні шари напою були прозорими. Під час інтенси-

вного перемішування зважені частки розподілялись по всьому об'єму рідини та викликали опалесценцію. Осад розчинявся в розчині соляної кислоти, що може бути викликано утворенням фенольних сполук з катіонами, що підтверджується даними табл. 1 та 2. Надсадкова рідина була стійка до незворотних помутнінь.

На дні пляшок з настоянками «Медовуха з хроном» і «Медова з перцем» спостерігали наявний осад у вигляді пластівців кольору напою, надсадкова рідина мала опалесценцію та зависі. Під час інтенсивного перемішування зважені частки розподілялись по всьому об'єму напою та утворювали стійку опалесценцію. Осад не розчинявся у розчині соляної кислоти, що може бути викликано утворенням зворотних і незворотних колоїдних помутнінь, що підтверджується результатами досліджень зміни показників прозорості купажів настоянок (рис. 1).

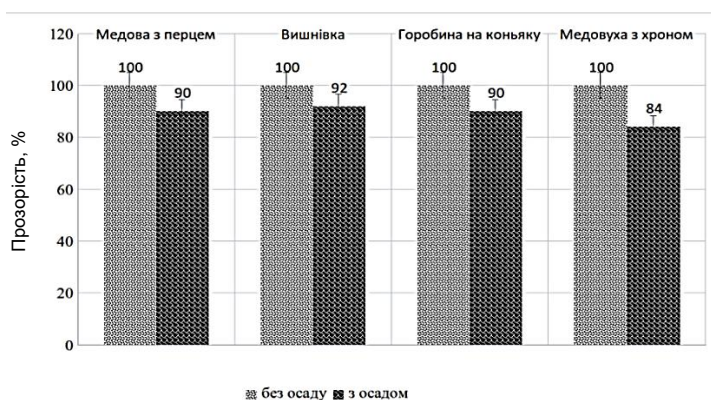


Рис. 1. Зміна прозорості настоянок під час зберігання напоїв

На основі вищевикладеного можна припустити, що однією з причин випадання осаду стало порушення внутрішньої поверхні пляшки, що узгоджується з підвищеним вмістом досліджуваних катіонів та аніонів (табл. 1, 2).

Для встановлення можливого впливу скляної тари на зміну зовнішнього вигляду настоянок після 6 місяців зберігання було проведено оцінювання водостійкості пляшок — об'єму розчину соляної кислоти, концентрацією $c(\text{HCl})=0,01$ моль/дм³, витраченого на титрування 50 см³ водної витяжки (рис. 2). Зразки пляшок після зберігання в них настоянок «Медовуха з хроном» та «Медовуха з перцем», у яких спостерігали наявність осаду, не відповідали вимогам виробничого технологічного регламенту на виробництво лікєро-горілчанних напоїв та ДСТУ 10117.1 за показником водостійкості. Інші зразки пляшок досліджуваних зразків відповідали параметрів якості.

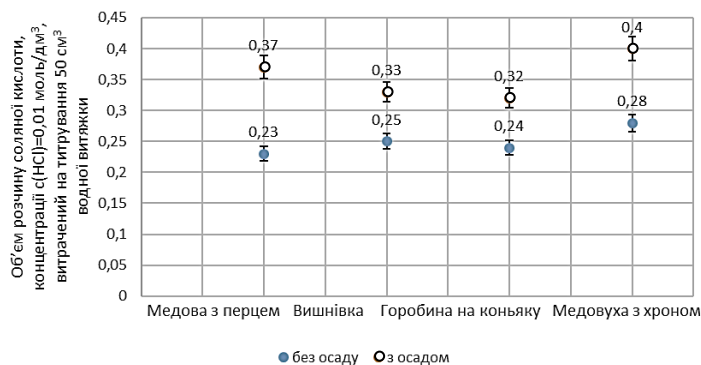


Рис. 2. Зміна водостійкості скляних пляшок під час зберігання напоїв

Досліджено наявність хімічної корозії внутрішньої поверхні пляшок, у які було здійснено розлив настоянок та після утворення осаду в напоях після їх зберігання протягом 6 місяців (табл. 1, 2). Встановлено, що в контрольних зразках внутрішня поверхня скляних пляшок перед розливом напоїв не забарвлювалась спиртовим розчином метиленового блакитного хлоргідрату. Після змін, які відбувались у зовнішньому вигляді настоянок, утворюванні осадів та опалесценції, спостерігали часткову хімічну корозію внутрішньої поверхні пляшок, у яких зберігали напої, з набуттям синьо-фіолетового забарвлення.

Під час тривалого зберігання лікєро-горілочаних напоїв у пляшках утворився осад складнорозчинних солей кремнієвої кислоти, що підтверджується даними табл. 2. На підставі викладеного вище можна припустити, що однією з причин випадання осаду є порушення внутрішньої поверхні скляних пляшок, що узгоджується з підвищеним вмістом катіонів.

Висновки. Аналіз результатів дослідження елементного складу настоянок показав, що однією з головних причин появи помутнінь і осадів у лікєро-горілочаних напоях є підвищений вміст катіонного складу. Катіони можуть вступати в реакції не тільки з колоїдними речовинами напоїв, але й з аніонами, з утворенням нерозчинних сполук, які під час зберігання випадають у вигляді осадів.

Аналізування купажу за катіонно-аніонним складом дозволяє визначати елементний склад лікєро-горілочаних напоїв, своєчасно виявляти та усувати причини погіршення якості продукції під час зберігання, підвищуючи таким чином ефективність технохімічного контролю за якістю алкогольних напоїв.

Елементний склад лікєро-горілочаних напоїв може бути порушений в результаті використання неякісної тари та неякісного підготування води. Отже, представлені дослідження доводять вплив елементного складу на якість і стабільність лікєро-горілочаних напоїв під час зберігання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бодак, М. П., Гірняк, Л. І., Гирка, О. І. (2018). Особливості формування споживних властивостей та асортименту лікєрів. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету*, 21, 78–82.
2. Головко, М. П., Пенкіна, Н. М., Колесник, В. В. (2017). *Формування якості та розширення асортименту міцних алкогольних напоїв зниженої токсичної дії*: монографія. Електронні дані. Харків. ХДУХТ.

3. Ловягин, О. М., Шевченко, Л. О., Топольник, В. Г., Кузьмін, О. В. (2011). Стійкість спиртних напоїв за короткострокових порушень температурних режимів зберігання. *Вісник ДонНУЕТ*, 1(49), 130—135.
4. Tabaszewska, M., Najgebauer-Lejko, D., Zbylut-Górska, M. (2022). The Effect of *Crataegus* Fruit Pre-Treatment and Preservation Methods on the Extractability of Aroma Compounds during Liqueur Production. *Molecules*. <https://doi.org/10.3390/molecules27051516>.
5. Leonarski, E. et al. (2020). Development, Chemical, and Sensory Characterization of Liqueurs from Brazilian Native Fruits. *Journal of Culinary Science & Technology*, 1—14. <https://doi.org/10.1080/15428052.2020.1747035>
6. Horinishi, A. et al. (2022). Changes in Proanthocyanidin Content during the Processing of Umeshu, a Spirit-Based Liqueur of Japanese Apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) Fruit. *ACS Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acfoodscitech.2c00208>.
7. Różański, M., Pielech-Przybylska, K., Balcerek, M. (2020). Influence of Alcohol Content and Storage Conditions on the Physicochemical Stability of Spirit Drinks. *Foods*, 12—64.
8. Różanski, M., Pielech-Przybylska, K., and Balcerek, M. (2020). Influence of Alcohol Content and Storage Conditions on the Physicochemical Stability of Spirit Drinks. *Foods*, 9, 1264. <https://doi.org/10.3390/foods9091264>.
9. Karabegovic, P. V., Vukosavljevic, M. M., Novakovic, S. Z., Gorjanovic, A. M., Dzamic, M. L. (2012). Latic Influence of the storage on bioactive compounds and sensory attributes of herbal liqueur. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 7(4), 1587—1598.
10. Капліна, Т. В., Миронов, Д. А. (2014). Технологія напоїв на основі водних екстрактів шишшини, обліпихи та калини. *Восточно-Європейський журнал передових технологій*, 34—47.
11. Попова, Н. В., Рибачок, А. В., Прищепа, Ю. Ю., Лапіна, Н. В. (2016). Технологія виробництва гіркої настоянки. *Наукові праці НУХТ*, 22(1), 219—224.
12. Трішина, В. Ю., Шквиренко, Л. А., Четверикова, К. С. (2017). Удосконалення існуючої технології виробництва плодоягідних слабоалкогольних напоїв з метою покращення їх органолептичних властивостей та позитивного впливу на організм людини. *Альманах науки*, 9—2, 4—7.
13. Ashurst, P. (2011). The stability and shelf life of fruit juices and soft drinks. *Food and Beverage Stability and Shelf Life*, 571—593. <https://doi.org/10.1533/9780857092540.3.571>.
14. Nawaz, R., Safdar, N., Ainee, A., Jabbar, S. (2021). Development and storage stability studies of functional fruit drink supplemented with polyphenols extracted from lemon peels.. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(3). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15268>.
15. Fatimaa, K., Tehseena, S., Ashfaqa, F., Bilalb, A., Zubair Khalidc, M., Khalidd, W., Kwashie Madilo, F. (2024). Development and storage stability studies of functional fruit and vegetable-based drinks incorporated with polyphenols extracted from herbs and spices. *International journal of food properties*, 27(1), 381—399. <https://doi.org/10.1080/10942912.2024.2317740>.
16. Li, W., Beta, T. (2011). Evaluation of Antioxidant Capacity and Aroma Quality of Anthograin Liquer. *Food Chemistry*, 127(3), 968—975. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.066>.
17. Hughes, P. S. (2017). *Stabilization of Distilled Spirits. Post-Fermentation and Distillation Technology*. CRC Press.
18. Mohan, S., Sonai Anand, S. (2024). Modifying the texture and mouthfeel of flavoured vodka. The Absolut Group, LTH.
19. I. Schwartz Roland, I., Le, T., Chen, T., Aguilera-Toro, M. (2024). Storage Stability of Plant-Based Drinks Related to Proteolysis and Generation of Free Amino Acids. *Foods*, 13(3), 367. <https://doi.org/10.3390/foods13030367>.
20. Tarko, T., Tuszyński, T. (2006). Influence of selected additives on colour stability of alcoholic egg liqueurs. *Acta Sci, Pol., Technol. Aliment.*, 5(1), 47—60. https://www.food.actapol.net/pub/4_1_2006.pdf.

УДК 631

ORGANIC AGRICULTURAL PRACTICES, BIODYNAMICS AND FOOD PRODUCTION IN SWEDEN

A. Shevchenko

National University of Food Technologies

Key words:

organic food product,
biodynamic preparation,
sustainable development,
regenerative agriculture

Article history:

Received 09.08.2025

Received in revised form
15.08.2025

Accepted 28.08.2025

Corresponding author:

nastyusha8@ukr.net

ABSTRACT

In Sweden, food production is a promising path towards sustainable production, protection of human health and preservation of the environment. Sweden's national target since 1994 is to expand organic farming to 30% of agricultural land. Sweden demonstrates that environmental protection and the contribution to sustainable development can be important drivers of organic growth, when politicians justify their support for organic and biodynamic farming, and there is a promotion of these farming systems. Sweden has a strong research and dissemination coordination center, a better balanced share of organic agricultural land with growing demand and an emphasis on market development and support for the processing industry to increase domestic organic food production. Most of the research in organic production is carried out at the Centre for Organic Food and Agriculture at the Swedish University of Agricultural Sciences, the Research Council Formas, and the Swedish Council of Agriculture, the Swedish Farmers' Fund for Agricultural Research. There are several labels for organic products in Sweden. The basic label is the EU organic label, which certifies that the product complies with the EU organic rules. There is also KRAV — Swedish label for organic products. According to the Swedish approach to environmental governance, the role of the central government is to set goals, while the formulation of specific policies is left to regional and local authorities. The central government monitors the achievements at the local/regional level. A study evaluating the role of organic farming in the context of Swedish food systems showed that the expansion of organic farming consistently increases the use of agricultural land and reduces waste and emissions.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-13

ПРАКТИКИ ОРГАНІЧНИХ АГРОТЕХНОЛОГІЙ, БІОДИНАМІКА ТА ВИРОБНИЦТВО ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ У ШВЕЦІЇ

А. О. Шевченко, д-р техн. наук, ORCID ID 0000-0002-6215-4860

Національний університет харчових технологій

У Швеції виробництво харчових продуктів розглядається як перспективний шлях до сталого розвитку, захисту здоров'я людини, а також збереження навколишнього середовища. Національна мета Швеції починаючи з 1994 року — розширення органічного землеробства до 30% сільськогосподарських угідь. У Швеції наявний потужний центр координації досліджень та поширення інформації, добре збалансована частка органічних сільськогосподарських угідь зі зростаючим попитом і наголосом на розвитку ринку та підтримці переробної промисловості для збільшення внутрішнього виробництва органічних харчових продуктів.

Ключові слова: *органічний харчовий продукт, біодинамічний препарат, сталий розвиток, регенеративне сільське господарство.*

Вступ. З огляду на несприятливу екологічну ситуацію у світі, що призводить до поширення захворюваності, набувають все більшої популярності органічне та біодинамічне землеробство як практики зі зменшеним використанням пестицидів і штучних добрив. Сировина, вирощена із застосуванням органічних агротехнологій та застосована у виробництві харчових продуктів, буде сприяти покращенню здоров'я та подовженню активного довголіття людини. Крім того, зважаючи на важливість цілей сталого розвитку, застосування органічного та біодинамічного землеробства сприяє збереженню ґрунтів, їхній регенерації та збереженню поживних для рослин речовин в ґрунті, що, у свою чергу, сприятиме покращеній його родючості. Практики органічного та біодинамічного землеробства поступово впроваджуються в різних країнах, виробництво органічних харчових продуктів зростає. Особливо активно це відбувається в скандинавських країнах. Для України, де впровадження таких технологій знаходиться на початковому етапі, важливо переймати кращі практики інших країн.

Огляд останніх досліджень і публікацій. У Швеції виробництво харчових продуктів розглядається як перспективний шлях до сталого виробництва, захисту здоров'я людини, а також збереження навколишнього середовища. Національна мета Швеції, починаючи з 1994 року, — розширення органічного землеробства до 30% сільськогосподарських угідь [1]. Площа органічних угідь у Швеції за останні 15 років зросла майже втричі, охоплюючи 20,2% (рис. 1).

У 2017 році Швеція прийняла нову продовольчу стратегію, яка визначає цілі щодо збільшення попиту на органічні харчові продукти до 2030 року до 60% усіх продуктів [3]. Стратегія також спрямована на сприяння взаємодії між операторами ринку в екосистемі постачання продовольства [4]. Попит на органічні продукти стабільно зростає з річним темпом 8% [5].

Поточна модель харчування в Швеції включає суттєву кількість харчових продуктів тваринного походження та оброблених харчових продуктів [6], а середній шведський раціон порушує п'ять із шести планетарних меж продовольчої системи.

Мета досліджень полягала в аналізі сучасної літератури щодо впровадження практики ведення органічного та біодинамічного землеробства, а також виробництва

органічних харчових продуктів у Швеції, викликів і перспектив, та встановлення особливостей впровадження цих методів господарювання.

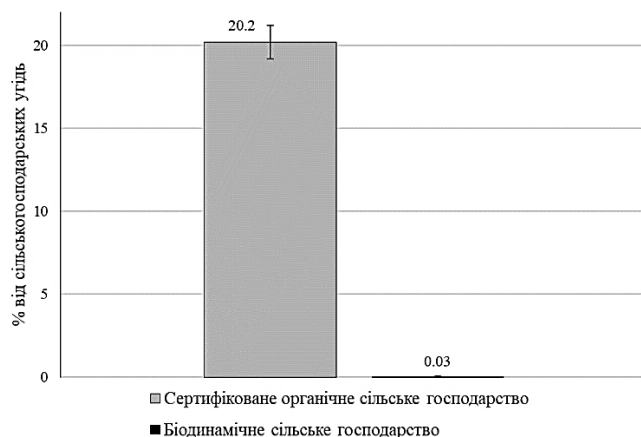


Рис. 1. Частка сертифікованого органічного та біодинамічного сільського господарства станом на 2024 рік (розроблено автором на основі [2])

Викладення основних результатів дослідження. Законодавче регулювання ринку органічного землеробства та виробництва органічних харчових продуктів. Більшість досліджень у галузі органічного виробництва проводиться в Центрі органічних харчових продуктів та сільського господарства у Шведському університеті сільськогосподарських наук, Дослідницькою радою Formas, Шведською радою сільського господарства та Шведським фондом фермерів для сільськогосподарських досліджень.

У Швеції існує кілька маркувань для органічних продуктів. Базовою маркою є маркування ЄС як органічні, яке засвідчує відповідність продукту правилам ЄС. Також існує KRAV — шведське маркування для органічних продуктів з вищими вимогами до виробництва, ніж маркування ЄС. Великі роздрібні торговці також мають власні органічні маркування для продукції власних торговельних марок [7].

Регламент ЄС щодо органічної продукції передбачає деякі винятки в окремих державах-членах. Шведський закон і регламенти щодо органічного виробництва були опубліковані у 2013 та 2015 роках. Ці винятки спрямовані на сприяння збільшенню органічного виробництва. Наприклад, винятки стосуються випадків, коли не вистачає насіння або органічних тварин для задоволення ринкового попиту. Підтримка органічного землеробства державою охоплює як перехідну допомогу тим виробникам, які переходять від традиційного виробництва до органічного, так і підтримку органічного сільського виробництва. Правила передбачають сертифікацію, збір урожаю або дотримання правил перехресної відповідності, регулювання використання кормів, що не виробляються сільським господарством, та заборону використання мінеральних добрив, пестицидів або ГМО-культур. Частка виплат на органічне землеробство в загальних витратах на Програму розвитку сільського господарства у Швеції майже вдвічі вища, ніж у середньому по ЄС. Виплати за органічне землеробство надаються фермерам у рамках програм, прийнятих фермерами на добровільній основі (на відміну від обов'язкової екологічної перехресної відповідності, обов'язкового озеленення) [8].

У стратегії Європейського Союзу «Від ферми до виделки» ключовим компонентом зеленого переходу європейської продовольчої системи є загальне скорочення

використання пестицидів на 50% до 2030 року [9]. Більшість національних політик щодо органічного землеробства переважно орієнтовані на фермерів. Вони значною мірою схильються до сприяння постачанню органічної продукції шляхом надання сільськогосподарських субсидій, а не до стимулювання попиту на органічні харчові продукти. Урядова політика, спрямована на споживачів, зазвичай обмежується наданням покупцям органічних харчових продуктів гарантій того, що такі продукти виробляються відповідно до визнаних стандартів, шляхом встановлення національних базових стандартів маркування органічних харчових продуктів. Однак у Швеції є винятки з цієї загальної тенденції.

Шведський досвід свідчить про те, що державні закупівлі мають потенціал для значного збільшення споживання органічних продуктів. У Швеції щодня у державному секторі подається 3 мільйони страв. Міжнародні дані щодо державних закупівель органічних продуктів відсутні. Порівнянні дані були зібрані шведською неурядовою організацією «Центр органічних продуктів» (Ekomatcentrum). Дані показують, що у 2019 році 39% харчових продуктів у шведському державному секторі були органічними [10].

Шведський режим управління в галузі державних закупівель органічних продуктів базується на добровільній національній меті споживання та делегуванні розробки політичних заходів місцевому та регіональному рівням [11].

Згідно зі шведським підходом до екологічного управління роль центрального уряду полягає у визначенні цілей, а формулювання конкретної політики залишається за регіональними та місцевими органами влади. Центральний уряд контролює досягнення на місцевому/регіональному рівні [12, 13]. Крім того, Радою сільського господарства були підтримані освітні заходи з органічного виробництва в державному секторі [14].

Шведським агентством з харчових продуктів обговорювалася концепція SMART як основа для просування більш сталого споживання органічних продуктів [15]. Відповідно до неї рекомендується скоротити споживання м'яса, збільшити кількість органічних харчових продуктів, вибирати корисні овочів з точки зору довкілля та здоров'я. Таким чином, концепція SMART тісно пов'язана з визначенням здорового харчування Всесвітньої організації охорони здоров'я.

У Швеції харчування, що фінансується платниками податків, подається у початкових, середніх і професійно-технічних школах [16], тобто існують сприятливі умови для збільшення споживання органічних продуктів, оскільки більша частка молодих людей (учнів та опосередковано їхніх батьків) є цільовою аудиторією державної політики [17].

Існує значна підтримка діяльності з розширення знань, спрямованої на фермерів і консультантів у галузі органічного виробництва. Також більше 20 років існують цільові національні проекти з державним фінансуванням органічних досліджень [18].

Дослідження практичного застосування принципів органічного землеробства для виробництва органічних харчових продуктів. Дослідження оцінки ролі органічного землеробства в контексті шведських продовольчих систем показало, що розширення органічного землеробства закономірно збільшує використання сільськогосподарських угідь та зменшує кількість відходів і викидів, однак за прогнозами це можливо завдяки змінам у харчуванні, зменшенню харчових відходів та підвищенню продуктивності сільського господарства. Це вигідно лише в поєднанні з трансформаційними стратегіями для сприяння екологічній стійкості через зміну споживання, покращення виробництва та практик поводження з харчовими відходами [19]. За

прогнозами при застосуванні органічних практик викиди парникових газів скоротяться на 55% до 2050 року [20].

Розширення органічного землеробства не матиме суттєвого впливу на сукупне внутрішнє виробництво. Перехід до органічного землеробства операторів ринку змінить спосіб виробництва та використовуватиме більше сільськогосподарських угідь для компенсації нижчої врожайності органічної продукції [21].

Частка органічного землеробства нерівномірно розподілена по всій Швеції (рис. 2), вона особливо низька в найбільш сільськогосподарських і продуктивних районах [22]. Це пов'язано з веденням інтенсивного землеробства в цих районах, оскільки там переважають рівнини. Збільшення частки органічного землеробства в цих районах матиме значну екологічну користь [23].

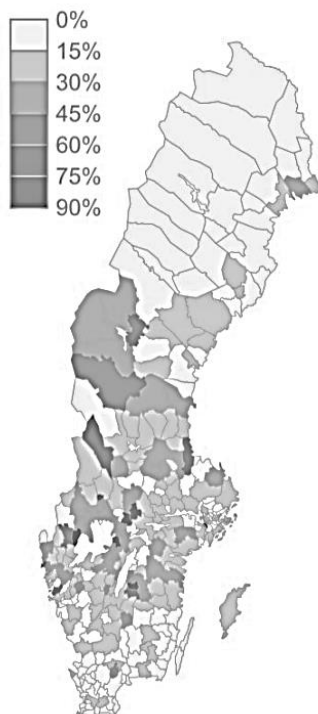


Рис. 2. Частка органічно оброблюваних земель у Швеції у 2022 році
(за даними Smith et al., 2020)

При порівнянні врожайності сільськогосподарських культур при конвекційному та органічному господарюванні спостерігалось її зниження за органічного землеробства для зернових культур, таких як пшениця, ячмінь та жито, на 38—41%. Меншу різницю мають бобові та тимчасові трави — 14—24% [24].

Було проведено дослідження щодо реалістичності переходу шведського сільськогосподарства до принципів екологічного переробного сільськогосподарства. Воно було зосереджено на впливі такого переходу на клімат, ефективне постачання поживних речовин зі зменшенням викидів у водні системи й атмосферу, виробничі потужності та самозабезпечення продовольчої системи Швеції. Встановлено, що процес від вирощування сировини до споживання готових продуктів становить 25% загального впливу на клімат та займає друге місце за джерелом викидів [25]. Крім

того, надлишок мінеральних добрив призвів до посилення евтрофікації вод, деградації ґрунтів з нижчим вмістом гумусу [26]. Результати показують перевагу альтернативного впровадження принципів екологічного землеробства, порівняно з поширеною політикою вирощування більшої кількості на меншій площі [27]. Загалом Швеція може стати самодостатньою у виробництві основних харчових продуктів, враховуючи наявну площу орних земель, впровадивши принципи екологічного переробного сільського господарства [28].

Проведено дослідження впливу анаеробного розкладання гною та використання дигестату на надходження та відтік поживних речовин і потенційно токсичних елементів на органічних фермах з різними рішеннями для виробництва дигестату протягом 3 років. Дві ферми, які купували дигестат на центральних біогазових установках, отримали дигестат, що спричинив значне надходження кадмію [29].

Дослідники виявили, що органічне землеробство підвищує викиди вуглецю більше, ніж традиційне землеробство. Це пов'язане зі значно ширшим використанням земель, необхідних для органічного землеробства. Крім того, при органічному землеробстві зібрана сировина з гектара землі зумовлює виготовлення меншої кількості харчових продуктів, тому для задоволення поточних потреб потрібно більше землі. Розширення органічного землеробства призведе до розчищення більшої кількості земель для виробництва продуктів і збільшить глобальне вирубування лісів. Така тенденція спостерігається в усьому світі [30]. Зменшення використання або заборона певних ресурсів може зменшити викиди забруднюючих речовин (включаючи парникові гази), але результатом може бути зниження ефективності використання ресурсів і продуктивності.

Найпоширенішими органічними культурами у Швеції є льон (близько 200 000 га), зернові (85 000 га), бобові (11 500 га), олійні культури (4 600 га) та картопля (1 200 га) [31].

Багато фермерів випереджають політику держави 30% органічного виробництва до 2030 року. Прикладом є ферма Högalid у провінції Сконе. З рослинної сировини на фермі вирощують ріпак, кукурудзу, овес, пшеницю та горох, а також трави. Основним стимулом збільшувати частку органічної сировини та продуктів є покращення здоров'я людей та ґрунту, стійкості сільськогосподарських культур, застосовуючи органічні добрива для кращого результату. На фермі застосовують сівозміну, внесення біомаси в ґрунт та мінімізацію використання техніки для захисту глибокої структури тонких кореневих систем та тунелів дощових черв'яків. Гарним прикладом є оренда полів в інших фермерів, адже сівозміна на цих полях покращує ґрунт. Впровадження системи сівозміни не тільки пригнічує ріст бур'янів, але й збагачує ґрунт органічними речовинами. Такий метод покращує дренаж ґрунту та утримання води. Він забезпечує більше кисню та простору для коріння, а наступна культура може споживати залишкові поживні речовини. Добрива отримують від тварин з цієї ж ферми, гній розкидається восени та навесні, але не влітку, оскільки поживні речовини гною випаровуються при високих температурах. Влітку кращою альтернативою є використання гранульованих органічних добрив [32]. Загалом в останні роки орні ландшафти цього регіону все більше спеціалізуються на вирощуванні лише 5 культур на 78% оброблюваних орних земель. Доведено, що простіші ландшафти мають нижчий рівень бур'янів, тому користь, яку органічне землеробство забезпечує для біорізноманіття, вища в простіших ландшафтах.

Проведені дослідження щодо способів покращення врожайності органічних культур сталим чином, з особливою увагою до ролі біорізноманіття. Встановлено, що

органічне землеробство частіше зустрічалось у менш сприятливих умовах вирощування, і врахування цієї просторової закономірності дійсно зменшувало різницю врожайності, особливо ячменю. Важливим був вибір попередньої культури для врожайності, оскільки при правильному виборі максимально використовувався її потенціал [33].

Дослідження впливу бур'янів показало, що бур'яни не завжди обмежують врожайність, цей ефект може бути опосередкований удобренням [34]. З чотирьох досліджуваних норм удобрення, лише за однієї бур'яни спричинили втрату врожаю, незважаючи на відносно високий їхній рівень. Це пояснюється відносною конкурентоспроможністю культури та бур'янів, де культура мала перевагу завдяки вищому оптимуму поживних речовин [35] та переважала в конкуренції за світло, будучи вищою за бур'яни. Однак збільшення удобрення та забезпечення азотом ґрунту знизило рівномірність бур'янів. На відміну від бур'янів, у дослідженнях було виявлено мало проблем зі шкідниками. Шкідники та хвороби рідко є проблемою для органічних зернових, що пояснюється нижчою якістю соку через менше удобрення, що робить культуру менш привабливою для шкідників [36]. Збільшення добрив і забезпечення ґрунту азотом негативно вплинули на різноманітність бур'янів та їхню рівномірність. Велика кількість квітучих видів бур'янів позитивно вплинула на чисельність дзюрчалок, які є важливими для зернових, оскільки їхні личинки є хижаками попелиць і допомагають регулювати проблеми зі шкідниками [37].

Було проаналізовано три різні логіки ведення сільського господарства в провінції Уппланд. Загалом не спостерігається розвитку великих ферм, якими керує корпоративний фермерський сектор, оскільки шведський закон про придбання землі забороняє юридичним особам (наприклад, агробізнесним корпораціям) володіти сільськогосподарськими землями. Однак успішним прикладом є Фонд Упсальського університету — це трастова компанія, яка володіє 14 000 га сільськогосподарських угідь і лісів, що робить його одним з найбільших землевласників у Швеції. Оскільки Фонд був заснований до прийняття Закону про придбання землі, він звільнений від чинної заборони на корпоративну власність на землю. Йому не дозволяється розширювати свої земельні володіння, але фонд може купувати та продавати землю, доки його загальна земельна власність не збільшується. Фонд сам не займається фермерством, а здає свою землю в оренду фермерам-орендарям [38].

Дослідження, проведені в провінції Уппланд на основі кількох ферм показали, що всі поля в одній безперервній зоні вирощування засіваються однією культурою одного сорту у певну дату, яка визначається логістикою. Таким чином, більшість полів будуть засіяні (або обприскані, або зібрані) зарано або запізно з точки зору оптимальної агрономічної практики. Інвестиції в нові технології є ключовими для такого контролю, як GPS-обладнання, яке допомагає контролювати внесення добрив, або може допомогти мінімізувати обприскування в перекриттях між рядами. Таке обладнання також сприяє зменшенню руху техніки по полях, що зменшує пошкодження ґрунту від ущільнення. Для виробника органічного зерна оранка разом із сівозміною була центральною умовою боротьби з бур'янами. Також вважається, що перешкодою для переходу від традиційного виробництва сільськогосподарських культур до органічного ведення господарювання є передусім питаннями ментального бар'єру, ніж питаннями, пов'язаними з фактичним веденням сільського господарства та прибутковістю [39].

Досліджено вирощування органічних яблук. Сорти «Aroma» та «Ingrid Marie» є двома найпоширенішими сортами яблук у Швеції. Яблуневі сади є продуктивними

щонайменше двадцять років. Протягом цього часу бур'яни, шкідники та грибки розмножуються у великих кількостях. Для боротьби з ними використовують *Bacillus thuringiensis* проти личинок метеликів, феромони проти яблуневої плодожерки та фунгіцид *Kumulus* проти грибкових захворювань. Для боротьби зі шкідниками використовують феромонні пастки, проби з лотків, системи попередження про паршу, проводяться проби ґрунту та візуальні спостереження за шкідниками та дефіцитом поживних речовин, але не вимагається документальна причина вжитих заходів. Якщо є доведений дефіцит мікроелементів і немає органічних засобів для збільшення цих поживних речовин, дозволено використовувати неорганічні добрива. Вживають заходи для збільшення різноманітності комах-хижаків, наприклад, шляхом висаджування дерев і квітів, корисних для них.

Органічно вирощені яблука є твердішими та солодшими, а також мають вищу антиоксидантну активність. Для промислового виробництва фруктів м'якоть плоду повинна бути білою, а колір шкірки яскраво-жовтуватим, твердість м'якоті понад 5 кг/см² після 10 тижнів зберігання, співвідношення між висотою плоду та його діаметром близько 1, оскільки симетрична форма більше підходить для механічного очищення, видалення серцевини та нарізання. Високий відсоток плодів мав недостатню якість під час збору врожаю, причому розмір плодів був найпоширенішою проблемою. Встановлено, що обробка не мала помітного впливу на колір, твердість плодів або вміст цукру та яблучної кислоти. А надмірне азотне удобрення підвищує сприйнятливість до парші, тому його слід уникати.

Перспективним напрямком є розроблення сортів, які мають декілька генів стійкості як до грибів, так і до комах-шкідників. Одним із найважливіших аспектів є пірамідизація різних генів стійкості до парші в одному сорті, оскільки стійкість до парші може бути подолана новими або мутованими штамами. Також потрібні засоби захисту рослин, спрямовані на конкретні гриби або комахи, не впливаючи на хижаків або індиферентних комах. Бажано покращити умови зберігання органічних фруктів за рахунок ефективніших сховищ і післязбиральної обробки, яка може знищити спори грибків, що осіли на плодах [40].

Інтенсифікація сільськогосподарської діяльності у Швеції призвела до втрати природної рослинності та екосистем, що спричинило втрату біорізноманіття та надмірне використання екосистемних послуг, включаючи зміну землекористування. У зв'язку з цим зріс попит на пошук нових екологічних видів господарства та виробництва.

Зростаюча популярність регенеративного землеробства зумовлена вищою обізнаністю про зміну клімату та прагненням до сталого розвитку [41]. Було оцінено стан ґрунту 17 сільськогосподарських полів і шести садів на 11 фермах, які застосовували регенеративні сільськогосподарські методи протягом 30 років у Швеції. Вимірювали фізичні (об'ємна щільність, швидкість інфільтрації, стабільність вологого агрегату, глибина та чисельність коренів, опір проникненню), хімічні (рН, електропровідність, співвідношення C:N, загальний органічний вуглець) та біологічні (чисельність дощових черв'яків, активне вугілля, вуглець мікробної біомаси) показники ґрунту. Ці параметри були пов'язані з регенеративними методами (зменшений обробіток ґрунту, внесення органічної речовини, інтеграція худоби, різноманітність культур та частка бобових та багаторічних рослин). Встановлено, що на досліджуваних ділянках внесення органічної речовини позитивно вплинуло на об'ємну щільність, параметри, пов'язані з вуглецем, стабільність вологого агрегату та швидкість інфільтрації, тоді як зменшений обробіток ґрунту та збільшення частки багаторічних рослин разом пози-

тивно вплинули на щільність рослинності, чисельність і глибину коренів, а також стабільність вологого агрегату [42]. Польові ділянки були розділені на чотири кластери відповідно до їхнього управління і було виявлено значно вищі значення загального органічного вуглецю, швидкості інфільтрації та чисельності дощових черв'яків для культур з високим вмістом органічних речовин, кластера управління з найвищими значеннями внесення органічної речовини та без обробки. Було також виявлено вищі значення густоти рослинності та чисельності коренів з постійним покривом. Таким чином, регенеративне землеробство має великий потенціал як основа для розвитку органічного сільського господарства, спрямована на покращення здоров'я ґрунту [43], пом'якшення та адаптацію до змін клімату [44].

Для сталого розвитку важливою є харчова цінність продукції і в цьому аспекті органічне землеробство потенційно перевищує традиційне [39]. Подальші аспекти сталого розвитку включають ефективність використання енергії, яка вища в органічному землеробстві порівняно з традиційним як на одиницю площі, так і на одиницю продукції [45].

Проблеми в процесі ведення органічного землеробства та виробництва органічних харчових продуктів. Багато проблем, включаючи доступність органічних добрив, таких як гній, компост і зелена біомаса, а також загальна необхідна площа земель, у Швеції залишаються не вирішеними. Кілька досліджень показують, що для досягнення екологічних цілей необхідна комбінація змін у різних частинах продовольчої системи, включаючи зміну раціону, підвищення продуктивності та скорочення польових відходів [46, 47].

Викликом також є масштабна рециркуляція поживних речовин та стале довгострокове постачання рослин поживними речовинами, захист рослин, особливо фруктів та овочів, збільшення вирощування бобових культур для кормів і харчових продуктів.

Однією з проблем успішного переходу до органічного землеробства є забезпечення доступності поживних речовин, зокрема азоту. Надходження доступного для рослин азоту, такого як амонійний азот або нітратний азот, в органічне виробництво сільськогосподарських культур часто нижче оптимального рівня для максимізації врожайності [48].

Інтеграція сільськогосподарських систем з виробництвом біогазу та використання дигестату як добрива може бути одним із способів збільшення переробки поживних речовин, отримання цінного добрива та виробництва біоенергії [49]. Дигестат є добривом для підвищення врожайності сільськогосподарських культур завдяки високому вмісту доступного для рослин азоту. За останнє десятиліття у Швеції було побудовано низку сільськогосподарських біогазових установок, деякі з яких розташовувалися на органічних фермах, що використовують суміш сировини, включаючи гній тварин [50].

При високому рівні удобрення також існує підвищений ризик вимивання поживних речовин, особливо з азотом, з органічних добрив та азотфіксуючих культур. Зі збільшенням кількості азоту, що надходить у ґрунт, викиди парникових газів у формі закису азоту можуть збільшитися [51]. Однак було показано, що викиди парникових газів нижчі в органічних виробничих системах з розрахунку на гектар [52].

Постачання достатньої кількості органічної сировини харчовій промисловості є проблемою у Швеції. Ще однією поміченою проблемою є ризик шахрайства з органічним маркуванням KRAV, що вказує на необхідність суворого нагляду за системою.

Практики біодинаміки при виробництві органічних харчових продуктів. У 1958 році Скандинавське дослідницьке коло з біодинамічного сільського господарства у Ярні (Швеція) розпочало польовий сільськогосподарський експеримент, який тривав 33 роки і включав використання восьми видів добрив [53].

Порівнювалися зразки картоплі з традиційних систем землеробства зі зразками з біодинамічних систем землеробства. Усі 29 випадків збору картоплі показали подібну закономірність: зразки картоплі, вирощеної за традиційними принципами, демонстрували варіацію, більше пов'язану з вищою кількістю сирого протейну, вищою врожайністю, більшою зміною кольору під час приготування. Картопля, оброблена біодинамічним способом, була більше пов'язана з такими ознаками, як вищі індекси якості та запасів корисних речовин, вищий вміст сухої речовини, кращі смакові якості, вища відносна частка чистого білка та вищі показники біокристалізації порівняно з відповідними традиційними зразками.

У біодинамічній системі картопля, вирощена після льону, була удобрена на 20 кг азоту/га менше, ніж картопля, вирощена після ячменю. Різниця в показниках компонентів між зразками з різних сівозмін не може залежати від фактичної кількості азоту, внесеного під культуру в досліджуваному році. Причина відмінностей, ймовірно, полягає в азоті, засвоєному в попередньому році. Очевидно, кількість азоту, мінералізованого в ґрунті після льону, перевищувала азот, що надходить з гною або добрив.

Погодні умови протягом різних сезонів мали значний вплив на результати. Біодинамічна система залежала від температурного фактора, оскільки для початку процесів мінералізації була потрібна певна температура ґрунту [54].

Було проведено дослідження в рамках інтегрованої біодинамічної ферми з вирощування сільськогосподарських культур та тваринництва протягом 15 років. Мета полягала в тому, щоб оцінити довгострокові наслідки для якості та врожайності сільськогосподарських культур, а також параметри якості ґрунту, порівнюючи використання компостованого та некомпостованого гною, з використанням або без використання повного набору біодинамічних препаратів. Збільшення вмісту вуглецю в ґрунті в середньому становило 400 кг вуглецю на гектар на рік у верхньому шарі ґрунту (середня об'ємна щільність 1,25 г/см³), значне збільшення для компостованого та некомпостованого гною з обробленням біодинамічними препаратами порівняно з використанням гною без біодинамічних препаратів. Крім того, спостерігали середнє збільшення органічного вуглецю на 0,14% у горизонті та вище його утримання при обробці біодинамічним компостованим гноєм [55].

Таким чином, Швеція демонструє, що захист довкілля та внесок у сталий розвиток можуть бути важливими рушійними силами органічного зростання, коли політики обґрунтовують свою підтримку органічного та біодинамічного сільського господарства, і просування цих систем землеробства. У Швеції наявний потужний центр координації досліджень і поширення інформації, переважно збалансована частка органічних сільськогосподарських угідь зі зростаючим попитом і наголосом на розвитку ринку та підтримці переробної промисловості для збільшення внутрішнього виробництва органічних харчових продуктів.

Висновки. За результатами проведеного аналізу встановлено, що у Швеції виробництво харчових продуктів розглядається як перспективний шлях до сталого виробництва, захисту здоров'я людини, а також збереження навколишнього середовища. Національна мета Швеції починаючи з 1994 року — розширення органічного землеробства до 30% сільськогосподарських угідь.

Швеція демонструє, що захист довкілля та внесок у сталий розвиток можуть бути важливими рушійними силами органічного зростання, коли політики обґрунтовують свою підтримку органічного та біодинамічного сільського господарства, і наявне просування цих систем землеробства. У Швеції діє потужний центр координації досліджень та поширення інформації, краще збалансована частка органічних сільськогосподарських угідь зі зростаючим попитом і наголосом на розвитку ринку та підтримці переробної промисловості для збільшення внутрішнього виробництва органічних харчових продуктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pekala, A. (2020). *Market analysis of organic foods in the Nordic and Baltic countries*. The Nordic Council of Ministers. Copenhagen. <https://doi.org/10.6027/TN2019-540>.
2. Paull, J., Tuttunen, T. (2024). Nordic pioneers of biodynamic and organic agriculture. *European Journal of Development Studies*, 4(1), 23—30. <https://doi.org/10.24018/ejdevelop.2024.4.1.336>.
3. Swedish Government (2017). En livsmedelsstrategi för Sverige — fler jobb och hållbar tillväxt i hela landet. Regeringens proposition 2016/17:104, Stockholm.
4. Gruvæus, A., Dahlin, J. (2021). Revitalization of Food in Sweden — A Closer Look at the REKO Network. *Sustainability*, 13(18), 10471. <https://doi.org/10.3390/su131810471>.
5. EkoWeb (2020). Ekologisk livsmedelsmarknad: Rapport om den ekologiska branschen. EkoWeb.nu, Lidköping. URL: <http://www.ekoweb.nu/attachments/67/68.pdf> (дата звернення: 08.09.2025).
6. Moberg, E., Potter, H. K., Wood, A., Hansson P.-A., Rööf, E. (2020). Benchmarking the Swedish diet relative to global and national environmental targets-identification of indicator limitations and data gaps. *Sustainability (switz)*, 12, 1—22. <https://doi.org/10.3390/su12041407>.
7. SNFA. (2017). "Miljömärken på mat". <https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/matvanor-halsa-miljo/miljo/markesguiden.pdf> (дата звернення: 08.09.2025).
8. OECD. (2018). Innovation, Agricultural Productivity and Sustainability in Sweden, OECD Food and Agricultural Reviews, OECD Publishing, Paris. URL: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264085268-en> (дата звернення: 08.09.2025).
9. European Commission. (2020). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and The Committee of the Regions: A Farm to Fork Strategy for a Fair, Healthy and Environmentally-friendly food system*. Brussels.
10. Varini, F., Hysa, X. (2021). *The power of public procurement: fostering organic production and consumption*. In: Willer H., Trávníček J., Meier C., Schlatter B. (Eds.), *The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2021*, Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) og IFOAM — Organics International, Frick and Bonn, 170—178.
11. Douglas, S., Schillemans, T., Hart, P., Ansell, C., Andersen, L. B., Flinders, M., Head, B., Moynihan, D., Nabatchi, T., Janine O'Flynn, J., Peters, B. G., Raadschelders, J., Sancino, A., Sørensen, E., Torfing, T. (2021). Rising to Ostrom's challenge: an invitation to walk on the bright side of public governance and public service. *Policy Design and Practice*, 4(4), 441—451. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27680.30721>.
12. Granberg, M., Elander, I. (2007). Local governance and climate change: reflections on the Swedish experience. *Local Environment*, 12(5), 537—548. <https://doi.org/10.1080/13549830701656911>.
13. Baker, S., Eckerberg, K. (2007). Governance for sustainable development in Sweden: the experience of the local investment programme. *Local Environment*, 12(4), 325—342. <https://doi.org/10.1080/13549830701412455>.
14. Burman, C., Johansson, S., and Davelid, A. (2020). *Utvärdering och uppföljning av livsmedelsstrategin: årsrapport år 2020*. Rapport 2020:3. Jordbruksverket, Jönköping.
15. SOU. (2005). *Bilen, biffen, bostaden: Hållbara laster — smartare konsumtion: Slutbetänkande av Utredningen om en handlingsplan för hållbar konsumtion — för hushållen*. SOU 2005:51: Statens Offentliga Utredningar, Stockholm.
16. Koch, C., Ascard, J., Falkenek, A., Jönsson, A., André, C. B., Fröman, E., Gotting, M., Andresen, N. (2018). *Åtgärdsplan för att öka produktion, konsumtion och export av ekologiska livsmedel: Rapport från ett regeringsuppdrag om ekologiska livsmedel*. Rapport 2018:16. Jordbruksverket, Jönköping.

17. Daugbjerg, C. (2023). Using public procurement of organic food to promote pesticide-free farming: A comparison of governance modes in Denmark and Sweden. *Environmental Science & Policy*, 140, 271—278. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.12.012>.
18. Løes, A-K., Dýrmondsson, Ó. R., Kreismane, D., Mikkola, M., Pehme, S., Rasmussen, I. A., Skulskis, V., Wiwstad, M. (2015). *The organic sector in the nordic-baltic region — what is achieved, and what is challenging further growth?* 25th Congress Nordic view to sustainable rural development, 79—84.
19. Basnet, S., Wood, A., Rööös, E., Jansson, T., Fetzer, I., Josefin, L. (2023). Gordon Organic agriculture in a low-emission world: exploring combined measures to deliver a sustainable food system in Sweden. *Sustainability Science*, 18, 501—519. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01279-9>.
20. Springmann, M., Clark, M., Mason-D’Croz, D. et al (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562, 519—525. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>.
21. Beltran-Pea, A., Rosa, L., D’Odorico, P. (2020). Global food self-sufficiency in the 21st century under sustainable intensification of agriculture. *Environmental Research Letters*, 15, 095004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AB9388>.
22. Jordbruksverket. (2022). Skörd för ekologisk och konventionell odling efter län, gröda och odlingsform. År 2009—2021. URL: https://statistik.sjv.se/PXWeb/pxweb/sv/Jordbruksverketsstatistikdatabas/Jordbruksverketsstatistikdatabas__Skordar_Ekologiskskord/JO0608H01.px/?rxid=5adf4929-f548-4f27-9bc9-78e127837625 (дата звернення: 08.09.2025).
23. Smith, O. M., Cohen, A. L., Reganold, J. P., Jones, M. S., Orpet, R. J., Taylor, J. M., Thurman, J. H., Cornell, K. A., Olsson, R. L., Ge, Y., Kennedy, C. M., Crowder, D. W. (2020). Landscape context affects the sustainability of organic farming systems. *The Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 117(6), 2870—2878. <https://doi.org/10.1073/pnas.1906909117>.
24. Jordbruksverket. (2022). Ekologisk växtodling 2021 [Organic arable farming 2021] (Report no. JO0114). Jordbruksverkets statistikrapporter. URL: <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiellastatistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2022-05-17-ekologiskvaxtoding-2021> (дата звернення: 08.09.2025).
25. Cederberg, C., Persson, M., Schmidt, S., Hedenius, F., Wood, R. (2019). Beyond the borders: Burdens of Swedish food consumption due to agrochemicals, greenhouse gas emissions and land use change. *Journal of Cleaner Production*, 214, 644—652. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.313>.
26. Jordbruksverket. Rapport 2019:1. (2022). Plan för Odlingslandskapets Biologiska Mångfald-Ett Samverkansprojekt Inom Miljömålsrådet. Available online: URL: https://www2.jordbruksverket.se/download/18.36d57baa168c704154d46f04/1549611543321/ra19_1.pdf (дата звернення: 08.09.2025).
27. Van der Werf, H. M. G., Trydeman Knudsen, M., Cederberg, C. (2020). Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. *Nature Sustainability*, 3, 419—425. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0489-6>.
28. Granstedt, A., Thomsson, O. (2022). Sustainable Agriculture and Self-Sufficiency in Sweden: Calculation of Climate Impact and Acreage Need Based on Ecological Recycling Agriculture Farms. *Sustainability*, 14(10), 5834. <https://doi.org/10.3390/su14105834>.
29. Salomon, E., Tidåker, P., Bergström, N. S. (2022). Flows and budgets of nutrients and potentially toxic elements on four Swedish organic farms using digestate from agricultural residues. *Organic Agriculture*, 12, 279—292. <https://doi.org/10.1007/s13165-022-00393-3>.
30. Weston, P. (2019). Organic farming produces more carbon emissions because it takes up more land, study finds. Independent. URL: <https://www.independent.co.uk/climate-change/news/organic-farming-emissions-land-diet-food-study-carbon-dioxide-a9166546.html> (дата звернення: 08.09.2025).
31. Jordbruksverket. (2016). *Jordbruksstatistisk sammanställning*.
32. Sweden’s ambition to increase organic farming. URL: <https://www.yara.com/knowledge-grows/swedens-ambition-to-increase-organic-farming/> (дата звернення: 08.09.2025).
33. Reumaux, R., Chopin, P., Bergkvist, G., Watson, C. A., Öborn, I. (2023). Land Parcel Identification System (LPIS) data allows identification of crop sequence patterns and diversity in organic and conventional farming systems. *European Journal of Agronomy*, 149, 126916. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126916>.
34. Little, N. G., DiTommaso, A., Westbrook, A. S., Ketterings, Q. M., Mohler, C. L. (2021). Effects of fertility amendments on weed growth and weed-crop competition: a review. *Weed Science*, 69(2), 132—146. <https://doi.org/10.1017/wsc.2021.1>.
35. Wang, L., Liu, Q., Dong, X., Liu, Y., Lu, J. (2019). Herbicide and nitrogen rate effects on weed suppression, N uptake, use efficiency and yield in winter oilseed rape (*Brassica napus L.*). *Global Ecology and Conservation*, 17, e00529. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00529>.

36. Wraften, S. D., Gurr, G. M., Tylanakis, J. M., Robinson, K. A. (2007). *Cultural control*. CABI. <https://doi.org/10.1079/9780851998190.0423>.
37. Rodríguez-Gasol, N., Alins, G., Veronesi, E. R., Wratten, S. (2020). The ecology of predatory hoverflies as ecosystem-service providers in agricultural systems. *Biological Control*, 151, 104405. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104405>.
38. Marquardt, K., Eriksson, C., Kuns, B. (2022). Towards a Deeper Understanding of Agricultural Production Systems in Sweden — Linking Farmer’s Logics with Environmental Consequences and the Landscape. *Rural Landscapes: Society, Environment, History*, 9(1), 1—15. <https://doi.org/10.16993/rl.78>.
39. Fess, T. L., Benedito, V. A. (2018). Organic versus conventional cropping sustainability. A comparative system analysis. *Sustainability*, 10(1), 272. <https://doi.org/10.3390/su10010272>.
40. Jönsson, Å. (2007). *Organic apple production in Sweden: cultivation and cultivars*. Doctor’s dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences.
41. Al-Kaisi, M. M., Lal, R. (2020). Aligning science and policy of regenerative agriculture. *Soil Science Society of America Journal*, 84(6), 1808—1820. <https://doi.org/10.1002/saj2.20162>.
42. Daverkosen, L., Holzknicht, A., Friedel, J. K., Keller, T., Strobel, B. W., Wendeborg, A., Jordan, S. (2022). The potential of regenerative agriculture to improve soil health on Gotland, Sweden. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 1—14. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200200>.
43. Giller, K. E., Hijbeek, R., Andersson, J. A., Sumberg, J. (2021). Regenerative agriculture: An agronomic perspective. *Outlook on Agriculture*, 50(1), 13—25. <https://doi.org/10.1177/0030727021998063>.
44. Lal, R. (2020). Regenerative agriculture for food and climate. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(5), 12A—124. <https://doi.org/10.2489/jswc.2020.0620A>.
45. Lynch, D. H., MacRae, R., Martin, R. C. (2011). The Carbon and Global Warming Potential Impacts of Organic Farming: Does It Have a Significant Role in an Energy Constrained World? *Sustainability*, 3(2), 322—362. <https://doi.org/10.3390/su3020322>.
46. Rööös, E., Mayer, A., Muller, A. et al (2022). Agroecological practices in combination with healthy diets can help meet EU food system policy targets. *Science of The Total Environment*, 847, 157612. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157612>.
47. García-Oliveira, P., Fraga-Corral, M., Pereira, A. G., Prieto, M. A., Simal-Gandara, J. (2020). Solutions for the sustainability of the food production and consumption system. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1847028>.
48. Rööös, E., Mie, A., Wivstad, M., Salomon, E., Johansson, B., Gunnarsson, S., Wallenbeck, A., Hoffmann, R., Nilsson, U., Sundberg, C., Watson, C. A. (2018). Risks and opportunities of increasing yields in organic farming. *Agronomy for Sustainable Development*, 38, 14. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0489-3>.
49. Koppelmäki, K., Parviainen, T., Virkkunen, E., Winquist, E., Schulte, R. P. O., Helenius, J. (2019). Ecological intensification by integrating biogas production into nutrient cycling: modeling the case of Agroecological Symbiosis. *Agricultural Systems*, 170, 39—48. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.12.007>.
50. Swedish Energy Agency. (2020). Produktion och användning av biogas och rötrester år 2019. Statens Energimyndighet Rapport ES 2020:25, 29.
51. Hansen, S., Berland Frøseth, R., Stenberg, M., Stalenga, J., Olesen, J. E., Krauss, M., Radzikowski, P., Doltra, J., Nadeem, S., Torp, T., Pappa, V., Watson, C. A. (2019). Reviews and syntheses: Review of causes and sources of N₂O emissions and NO₃ leaching from organic arable crop rotations. *Biogeosciences*, 16(14), 2795—2819. <https://doi.org/10.5194/bg-16-2795-2019>.
52. Seufert, V., Ramankutty, N. (2017). Many shades of gray — The context-dependent performance of organic agriculture. *Science Advances*, 3(e1602638), 1—14. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1602638>.
53. Kjellenberg, L., Granstedt, A., Pettersson, B. D. (2005). *The connection between soil, crop and manure*. Results from the k-trial, a 33-year study on the effect of fertilisation on the properties of soil and crop. Nordisk Forskningsring, Sweden.
54. Kjellenberg, L., Granstedt, A. (2015). Influences of Biodynamic and Conventional Farming Systems on Quality of Potato (*Solanum Tuberosum* L.) Crops: Results from Multivariate Analyses of Two Long-Term Field Trials in Sweden. *Foods*, 4(3), 440—462. <https://doi.org/10.3390/foods4030440>.
55. Kjellenberg, L., Granstedt, A. (2007). *Carbon sequestration in long term on farm studies in Organic and Biodynamic Agriculture, Sweden*. Proceedings of the Scientific Track "Innovative Research for Organic Agriculture 3.0", Organic World Congress.

УДК 664.6

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF BREAD MADE FROM RYE FLOUR WITH HIGH FALLING NUMBER

V. Yurchak¹, N. Pashova¹, H. Voloshchuk², H. Bandurenko², V. Shaposhnik²¹National University of Food Technologies²Kyiv Cooperate Institute of Business and Law

Key words:

rye bread,
flour,
defatted seeds,
malt,
quality,
optimal technology

Article history:

Received 06.08.2025

Received in revised form

14.08.2025

Accepted 16.08.2025

Corresponding author:

volo_g@ukr.net

ABSTRACT

Effect of enzymatic active rye malt and mix of different flours: flour of topinambur, flour partially defatted seeds (sesame, pumpkin and walnut) to the complex rheological estimation of model dough made by rye flour with high falling number has been investigated.

Two typer of rye flour was used: rye flour Type 130 with falling number 374 s and damaged starch index 19,2 SDU and rye flour with falling number 278 s and damaged starch 8.5 SDU; rye non-fermented malt with "saccharifying time" 20 min, was used in quantity necessary for decreasing of FN to the 200 s. Fortifying mix of defatted flour of pumpkin seeds, sesame and walnut with fat content 12.0, 10.0 and 9.0%, as well as flour of topinambur with inulin content 70% was used in amount of 10% of flour weight. Rye flour Type 130, ready-to-use rye sourdough, rye fermented malt, salt, fresh yeast, water, fortifying mix and wheat gluten was used for preparing the trial bread samples.

Fortifying mix provide the positive effect on reducing of resistance of the model dough sample to the overmixing during mixing, heating and cooling on the Mixolab 2. It was found that the reduction in the torque of the dough with malt occurs due to the enzymatic cleavage of flour biopolymers, and for the dough with the mixture — due to the additionally introduced water-soluble biopolymers of sugars, fat and dietary fiber of seeds and Jerusalem artichoke, which reduce the activity of enzymes and the availability of starch for hydrolysis.

Authors propose to use the fortifying mix in combination with rye enzymatic active malt and wheat gluten in amount of 2...3% of flour weight.

It was installed that using of rye enzymatic active malt with wheat gluten provide optimal technology of rye bread of high quality and prolonged shelf life.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-14

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ХЛІБА ЖИТНЬОГО З БОРОШНА З ВИСОКИМ ЧИСЛОМ ПАДІННЯ

В. Г. Юрчак, д-р техн. наук, ORCID ID: 0000-0002-3581-6355

Н. В. Пашова, ORCID ID: 0000-0002-5205-0769

Національний університет харчових технологій

Г. І. Волощук, канд. техн. наук, ORCID ID: 0000-0003-1913-0238

Г. М. Бандуренко, канд. техн. наук, ORCID ID: 0000-0002-4946-4530

В. М. Шапошнік, канд. техн. наук, ORCID ID: 0000-0001-8969-0228

Київський кооперативний інститут бізнесу і права, Україна

Досліджено вплив солоду житнього ферментативно-активного та вплив внесення суміші різних видів борошна: борошна з топінамбура, борошна з частково знежиреного насіння (знежиреного насіння кужуту, знежиреного насіння гарбуза, знежиреного горіха волоського) на комплексну реологічну оцінку якості модельного тіста з борошна житнього з високим числом падіння.

Встановлено, що використання солоду житнього ферментативно-активного і сухої пшеничної клейковини в кількості 2...3% до маси борошна є оптимальним при виробництві хліба житнього, збагаченого речовинами суміші різних видів борошна, для забезпечення високого питомого об'єму хліба, розвиненої пористості м'якучки та подовженого терміну збереження свіжості.

Ключові слова: хліб житній, борошно, знежирене насіння, солод, якість, оптимальна технологія.

Вступ. Хлібобулочні вироби з підвищеною харчовою цінністю та високої якості, як продукти щоденного споживання, є нагальною потребою суспільства. У зв'язку зі зміною кліматичних і агротехнологічних умов вирощування жита та вибору фермерами високоврожайних, сухостійних гібридних сортів, хлібопекарські властивості житнього борошна суттєво погіршилися за здатністю крохмалю до амілолізу, що характеризується показником «число падіння» (ЧП) [1—3]. ЧП характеризує ферментативну автолітичну активність, яка формує газоутворювальну і частково газотримувальну здатність завдяки в'язко-пластичним властивостям тіста, що формуються декстринами та водорозчинними ксиланами. Оптимальне ЧП для житнього борошна має бути в межах 180 ± 30 секунд. Для борошна з гібридних сортів жита ЧП, як правило, вище 200 с і може сягати 400 с. Вироби з такого борошна мають знижений питомий об'єм, невластиву для житнього хліба суху м'якучку, яка починає кришитися через добу зберігання. Для покращення хлібопекарських властивостей борошна запропоновано використовувати як поліпшувачі ферментні комплекси закордонного виробництва [4—6], що, безумовно, здорожчує собівартість хліба.

Універсальною ферментативно-активною вітчизняною сировиною є солод житній неферментований за рахунок високої активності амілолітичних ферментів у пророслому зерні [7, 8]. Солод неферментований (білий) житній і ячмінний рекомендують використовувати для оцукрення заварок у кількості до 7% від маси борошна у заварці [7, 9]. Проте збільшення борошна на приготування заварки і використання солоду білого неферментованого (СБН) в заварці може призвести до зростання масової частки цукрів у хлібі на понад 20% до маси сухих речовин (СР), що є небажаним для хліба, збагаченого для дієтичних потреб населення, особливо в умовах стресу з порушеним вуглеводно-жировим обміном речовин [10, 11].

Огляд останніх досліджень і публікацій. Хліб із житнього борошна має вищі органолептичні показники та поживну цінність, ніж пшеничний, за рахунок збільшеного вмісту некрохмальних полісахаридів, мінеральних речовин, біодоступності білка та біоферментативної активності борошна [7, 13, 14].

Проте вміст крохмалю в житньому борошні перевищує 55 %, і за дієтичними властивостями житній хліб поступається хлібобулочним виробам, які додатково збагачені есенціальними речовинами [7, 15].

Для підвищення вмісту харчових волокон, білка, жиру з високим індексом якості, мінеральних речовин і зниження калорійності житнього хліба вітчизняними науковцями було розроблено суміш збагачувальну (СЗ) різних видів борошна: борошна з частково знежиреного горіха волоського, зі знежиреного насіння гарбуза, знежиреного кунжуту і борошна з топінамбура [16, 17]. Складові СЗ підбирали за впливом частково знежиреного борошна на структуру тіста і якість хліба із житнього борошна, яке мало хороші хлібопекарські властивості: показник числа падіння був у межах 160...220 с. Було встановлено, що додавання СЗ незначно підвищує водопоглинальну здатність борошна, еластичність утвореного тіста та знижує розрідження за показниками фаринографа. У зразках із добавкою знижувалася температура клейстеризації та максимальна в'язкість за показниками амілографа. Внесення борошна насіння гарбуза і порошка з топінамбура забезпечувало найвищу газоутворювальну та газотримувальну здатність тіста. Додавання борошна кунжуту і горіха волоського знижувало газоутворювальну та газотримувальну здатність тіста житнього [12,18]. Борошно з топінамбура здійснювало функції антимікробного агента [17,19].

Також було встановлено оптимальні дозування компонентів суміші збагачувальної для поліпшення споживчої, біологічної цінності та харчової ефективності хліба житнього. Остаточне дозування суміші збагачувальної визначали за допомогою програми ОПТИМА [20].

Попередніми дослідженнями встановлено, що складові суміші збагачувальної швидше зв'язували воду, ніж компоненти житнього борошна, уповільнюючи процес амілолізу крохмалю та гідроліз ксиланів, і це мало негативний вплив на показники якості хліба, зокрема на процес його черствіння, коли підвищувалась кришкуватість м'якучки хліба та знижувалось її намокання [12, 21]. Тому житній хліб, збагачений вказаною композицією, авторами було запропоновано виробляти на заварці. Виробництво житнього хліба із суміші збагачувальної, що протягом 72 год зберігав свіжість і мав покращений смак, вимагало використання заварки з червоним ферментованим солодом. При використанні житнього борошна із задовільними технологічними властивостями використовували заварку приготовлену з 5% борошна від загальної кількості.

Було встановлено, що суміш збагачувальна вирівнювала швидкість утворення вуглекислого газу до показників контрольного зразка без добавок. Це дозволило виробляти хліб поліпшеного хімічного складу на промисловому обладнанні без зміни технологічних режимів.

Як поліпшувач для дозування в тісто солод білий неферментований у сухому вигляді в сучасній літературі не розглядався. На нашу думку, використання солоду з житнім борошном з високим числом падіння призведе до збільшення кількості водорозчинних речовин у тісті та може посилити гідратацію колоїдів житнього борошна і знизити газотримувальну здатність тіста, що вплине на зниження пористості м'якучки хліба [12, 18].

У розробках пшеничних сортів хліба з додаванням борошна з макухи чи шроту льону, ріпаку, розторопші для поліпшення питомого об'єму і стану пористості хліба та подовження його свіжості рекомендовано використовувати від 2 до 5% сухої пшеничної клейковини (СПК) [7, 15]. Тому для одержання хліба житнього з борошна з підвищеним числом падіння, збагаченого розробленою сумішшю, доцільно вивчити сумісний вплив на якість хліба солоду ферментативно-активного та клейковини.

Мета досліджень полягала у визначенні впливу солоду житнього ферментативно-активного та суміші збагачувальної на властивості тіста і якість хліба з борошна житнього обдирного з високим числом падіння, і на цій підставі в удосконаленні технології хліба житнього з їх використанням.

Матеріали і методи. Використовували борошно житнє обдирне двох партій: перша — борошно жорнового помелу з показниками ЧП 374 с та високим ступенем пошкодження зерен крохмалю (СПЗК) — 19,2 SDU; друга партія — вальцьового помелу із нижчим ЧП 278 с та нижчим ступенем пошкодження зерен крохмалю — 8,5 SDU; солод неферментований житній із показником «тривалість оцукрення» 20 хв. Солод дозували у кількостях, необхідних для зниження ЧП борошна до 200 с, а саме: 0,750% до маси борошна для першої партії і 0,375% для другої. Суміш збагачувальна складалася з борошна знежиреного насіння гарбуза, знежиреного кунжуту і знежиреного волоського горіха з вмістом жиру в них, відповідно, 12,0%, 10,0% і 9,0% до маси сухих речовин. У суміші використовували борошно з топінамбура з вмістом інуліну 70%, середньою молекулярною масою 24 одиниці лінійності ланцюга, титрованою кислотністю 20,0 град. Суміш збагачувальну дозували у кількості 10% до маси борошна.

Якість борошна і його сумішей із солодом за показником ЧП аналізували на приладі Perten, ступінь пошкодження зерен крохмалю борошна — амперметричним методом на приладі SDMatic в лабораторії Українського центру Soctrad Chopin Technologies. Вплив солоду та суміші збагачувальної на перебіг процесів у житньому тісті проводили на приладі Mixolab 2, вимірюючи опір зразка модельного тіста перемішуванню, у величинах крутного моменту, залежно від часу замісу й температури тіста шляхом імітування технологічних процесів виробництва хліба (замішування, нагрівання під час випікання та охолодження).

Для виготовлення дослідних зразків хліба використовували суміш борошна житнього жорнового і вальцьового помелів у співвідношенні 1:1 та борошно вальцьове, дріжджі пресовані хлібопекарські, готову рідку житню закваску, сіль кухонну харчову, солод червоний ферментований та СПК. Солод неферментований житній вносили в суміші із житнім борошном.

Тісто готували трифазним способом на заварці і рідкій заквасці, розроблений відділом технологій хліба та біотрансформації зернових продуктів Інституту продовольчих ресурсів НААН України. Готову рідку житню закваску використовували з кислотністю $9,5 \pm 1,0$ град., рН 3,9, з вологістю $70 \pm 1,0\%$.

Заварку готували з 5,0% житнього борошна та 5,0% житнього ферментованого солоду вологістю $62 \pm 1,0\%$, оцукрювали 90 хвилин.

СПК вносили на стадії замісу тіста, додавали дріжджі, сіль, суміш збагачувальну. Тісто замішували на двошвидкісній машині з вологістю 50%.

Процес бродіння тіста відбувався при температурі 29 ± 1 °C впродовж 90 ± 10 хв. до кінцевої кислотності $7,0 \pm 0,5$ град. Готове тісто ділили вручну. Тістові заготовки вкладали у змащені форми і направляли на вистоювання при температурі 35 ± 2 °C та відносній вологості повітря $75 \pm 10\%$ на термін 50 ± 10 хв. Випікали хліб у зволоженій пекарській камері печі при однакових температурних режимах впродовж

40 ± 3 хв. Охолоджували хліб при температурі 20±1 °С та відносній вологості повітря 70 ± 5 %. Відбирали зразки для контролювання якості хліба через 36 і 72 год після випікання. Якість хліба аналізували за загальноприйнятими методиками [22, 23].

Результати досліджень. На підставі визначення структурно-механічних властивостей тіста на приладі Міхoлаb2 встановлено (табл.1), що внесення солоду в кількості, необхідній для зниження ЧП борошна житнього до 200 с, не впливає на водопоглинальну здатність (ВПЗ) борошна житнього обдирного з високим показником ЧП і різним ступенем пошкодження крохмальних зерен. Додавання суміші збагачувальної призводило до зниження ВПЗ борошна для зразка жорнового борошна з 68,4% до 65,8%, а для вальцьового борошна — з 67,2% до 64,4%, тобто майже на однакову величину — 2,6% і 2,8%. Це пояснюється вмістом у суміші цукрів, водорозчинних білків і харчових волокон, які спричиняють дегідратуючий вплив на основні біополімери житнього борошна. Тісто із сумішшю збагачувальною мало послаблену структуру, що виражалось у нижчих величинах крутного моменту приладу.

Таблиця 1. Вплив солоду і суміші збагачувальної на показники тіста з борошна житнього обдирного

Стадії дослідження, параметри процесу	Жорнове, ЧП 374 с СПЗК 19,2 од.			Вальцьове, ЧП 278 с СПЗК 8,5 од.		
	Контроль	0,750% СБН	10,0% СЗ	Контроль	0,375% СБН	10,0% СЗ
Утворення тіста						
ВПЗ, %	68,4	68,6	65,8	67,2	67,2	64,4
Час, хв.	0,77	0,78	0,82	1,60	1,58	2,03
Крутний момент, Н·м	1,158	1,126	1,032	1,064	1,074	1,036
Температура, °С	30,4	30,9	29,7	30,6	30,4	30,8
Амплітуда крутного моменту, Н·м	0,09	0,07	0,04	0,05	0,06	0,045
Стабільність тіста						
Час стабільності тіста, хв	1,30	1,40	2,30	4,60	3,70	7,70
Час стадії стабільності, хв	8,0	8,0	9,93	8,0	8,0	9,23
Крутний момент, Н·м	0,817	0,807	0,806	0,880	0,886	0,903
Температура, °С	31,6	31,6	31,3	31,7	31,7	31,9
Стійкість системи тіста						
Час, хв.	18,10	18,08	18,48	17,82	17,95	18,68
Крутний момент, Н·м	0,477	0,441	0,380	0,475	0,465	0,401
Температура, °С	61,6	63,3	63,7	61,8	63,2	65,6
Клейстеризація крохмалю борошна						
Час, хв.	22,73	22,15	22,40	22,18	22,10	22,17
Крутний момент, Н·м	1,897	1,564	1,519	1,586	1,472	1,413
Температура, °С	80,1	80,6	79,8	79,8	80,3	79,9
Стабільність амілолітичного комплексу						
Час, хв.	31,78	31,77	31,73	31,77	31,17	31,20
Крутний момент, Н·м	1,175	0,631	0,626	0,862	0,716	0,695
Температура, °С	85,2	85,1	84,9	84,6	86,0	86,2
Ретроградація крохмалю						
Час, хв.	44,98	45,00	45,00	45,00	45,00	45,02
Крутний момент, Н·м	1,890	1,271	1,175	1,700	1,498	1,375
Температура, °С	54,2	53,2	53,9	52,6	52,5	54,2

Час утворення тіста із розробленою сумішшю і час стабільності тіста збільшувалися, особливо в другому зразку борошна вальцьового помелу з меншим пошкодженням гранул крохмалю (див. табл. 1, рисунок).

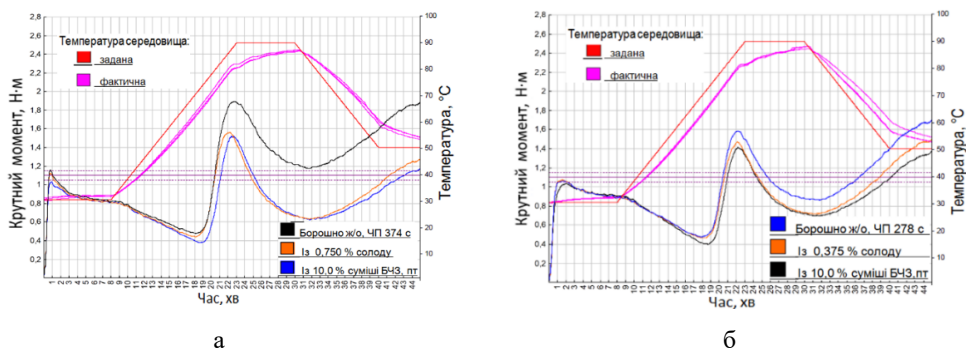


Рис. Вплив солоду та суміші збагачувальної на структурно-механічні властивості тіста з борошна житнього обдирного: а — жорнового; б — вальцевого

Час утворення і час стабільності для тіста із жорнового борошна були короткими, додавання солоду на них майже не впливало. Для вальцевого борошна з менш ушкодженими гранулами крохмалю додавання солоду знижувало час стабільності щодо контролю на 20% і складало 3,7 хв. Це може пояснюватися впливом ферментів солоду на некрохмальні біополімери, частковим переходом білків і ксиланів у водорозчинний стан.

При стабільній температурі тіста — 31 °С протягом 8 хв, структурно-механічні властивості тіста залишалися незмінними. Нижчі показники крутного моменту були для тіста із жорнового борошна — в межах 0,81...0,82 Н·м, а для тіста із борошна вальцевого зразка дещо вищими — 0,87...0,90 Н·м.

Збільшення температури до 60,6...63,3 °С призводить до розслаблення тіста на стадії «стійкість системи тіста», проте вплив солоду на цьому етапі не є суттєвим, підвищує розрідження тіста за показниками крутного моменту приладу всього на 0,8...2,0%. Додавання суміші розслаблює структуру тіста для двох зразків борошна, знижує величину крутного моменту для жорнового борошна на 20%, а вальцевого — на 16%.

При прогріванні тіста до температури 80,6 °С на стадії «Клейстеризація крохмалю борошна» амліографічний пік для жорнового борошна з ЧП 374 с сягає 1,9 Н·м, а для вальцевого борошна з ЧП 278 с — 1,59 Н·м. Додавання солоду знизило максимальний крутний момент на стадії клейстеризації крохмалю для першого зразка на 17%, а для другого — на 7%. При досягненні на 30-й хвилині максимальної температури на стадії «стабільність амліолітичного комплексу» різниця між крутними моментами контрольних зразків і зразків з солодом становила відповідно 46% і 17% (див. рис., а і б). Суттєва різниця у зменшенні показників крутного моменту корелює із кількістю внесеного солоду і ступенем пошкодження крохмальних зерен у жорновому та вальцевому борошні.

Очікуваний вплив солоду на структуру тіста спостерігається на стадії «Ретроградація крохмалю». Зниження температури зразків з 80 °С майже до 50 °С не призвело до зміцнення тіста очевидно через сповільнення процесу кристалізації (ретроградації) крохмальних біополімерів. Величина крутного моменту для зразків із ферментативно-активним солодом нижча, відповідно, на 33% і 12% для жорнового та вальцевого борошна.

Додавання суміші збагачувальної до борошна призводило до найбільшого зниження крутного моменту на всіх стадіях підвищення і зниження температури. На стадії «Стойкість системи тіста» крутний момент для першого і другого зразків тіста із

сумішшю менший від контрольних відповідно на 20% і 15%, і рівно на 13,8% нижчий, ніж у відповідних зразках тіста з солодом. На стадії «Клейстеризація крохмалю борошна» крутний момент амілолітичного піку нижчий на 19% та 11% за відповідні контрольні зразки, і на 3% та 4% порівняно зі зразками з солодом.

Важливою особливістю впливу суміші збагачувальної на перебіг процесів клейстеризації в тісті під дією високих температур є більша енергоємність процесу, зміщення максимальних величин крутного моменту в зону вищих температур прогрівання зразків. На кінець стадії «Стабільність амілолітичного комплексу» величина крутного моменту для зразків із сумішшю була нижчою за контрольні, відповідно, на 47% і 19%, і нижчою для зразків з солодом на 0,8% для жорнового борошна і на 3% для вальцьового.

Крутний момент для тіста з борошна жорнового із сумішшю збагачувальною на кінець стадії «Ретроградація крохмалю» становив 1,175 Н·м, а з борошна вальцьового з сумішшю — 1,375 Н·м. Різниця між величинами крутного моменту контрольних зразків і зразків із сумішшю збагачувальною на кінець стадії становила для жорнового борошна і вальцьового борошна, відповідно, 0,715 Н·м і 0,325 Н·м або 39% і 19% щодо контролю. Різниця між величинами крутних моментів для тіста з солодом і для тіста з сумішшю збагачувальною становила для борошна жорнового помелу 0,096 Н·м і для борошна вальцьового помелу 0,123 Н·м або на 7,5% і на 8,2% нижче порівняно із зразками з солодом.

Простежений суттєвіший вплив суміші збагачувальної на величини крутного моменту для борошна вальцьового помелу з меншим пошкодженням його гранул свідчить про домінування впливу нетипових для житнього борошна речовин на послаблення реологічних властивостей тіста. Зменшення крутного моменту для тіста з солодом відбувається за рахунок ферментативного розчеплення біополімерів борошна, а для тіста із сумішшю — за рахунок додатково внесених водорозчинних біополімерів збагачувальної сировини, що знижують доступність крохмалю для гідролізу.

Зроблені припущення були підтверджені результатами аналізу впливу суміші збагачувальної на якість хліба і на збереження його свіжості (табл. 2). Якість хліба була вищою з борошна вальцьового помелу, яке мало нижчий показник ЧП та менший ступінь пошкодження крохмальних зерен.

Таблиця 2. Вплив суміші збагачувальної, солоду та сухої пшеничної клейковини на якість хліба з житнього борошна

Показники якості хліба	Борошно жорнове 50% і борошно вальцьове 50%					Борошно вальцьове, 100%				
	конт-роль	СЗ 10%	СБН 0,65 %	СЗ, СБН	СЗ, СБН, СПК 3%	конт-роль	СЗ 10%	СБН 0,38 %	СЗ, СБН	СЗ, СБН, СПК 2%
Якість хліба через 36 годин										
Питомий об'єм, см ³ /г	1,50	1,46	1,80	1,60	2,05	1,65	1,60	1,96	1,75	2,15
Стан м'якушки	більш товстостінна					менш товстостінна				
Вологість, %	49,5	50,0	49,5	50,0	49,0	48,5	49,5	49,0	49,5	48,5
Кислотність, град.	6,7	7,0	7,0	7,3	7,0	7,2	7,4	7,5	7,5	7,5
Пористість, %	47	45	54	46	60	61	57	63	60	68
Масова частка цукру, % до СР	3,5	4,5	3,7	5,0	5,0	4,5	5,0	4,5	5,0	5,0

Продовження таблиці 2

Кришкуватість, %	3,0	5,2	2,0	3,5	1,8	3,6	4,0	3,1	3,9	2,0
Намокання, %доСР	320	319	370	350	395	338	310	384	380	400
Показники свіжості хліба через 72 години										
Вологість, %	48,0	49,9	49,0	49,5	48,0	48,0	49,5	48,5	49,0	47,0
Кришкуватість, %	7,2	15,0	4,5	7,0	3,5	5,0	10,0	4,0	5,0	4,0
Намокання, % доСР	295	280	327	311	386	324	301	342	327	381

Якість хліба, випеченого із зразка борошна житнього обдирного жорнового помелу, була низькою, не відповідала вимогам, які встановлені в ДСТУ для якості житнього хліба. Тому дослідження якості хліба з борошна жорнового помелу проводили в суміші з борошном вальцьового помелу за співвідношення цих видів борошна 1:1.

Зразки хліба з борошна жорнового мали більш товстостінну пористість і нижчий питомий об'єм та нижчі показники пористості й свіжості м'якушки, ніж хліб, виготовлений з борошна вальцьового помелу.

Додавання суміші збагачувальної призвело до суттєвого зниження об'єму і пористості м'якушки хліба та збільшення її кришкуватості. Кислотність і масова частка цукру в хлібі з сумішшю збагачувальною зросла за рахунок кислореагуючих речовин та цукрів суміші (див. табл. 2).

Внесення солоду сприяло поліпшенню якості хліба та збереженню його свіжості порівняно з контрольним зразком і зі зразком із сумішшю збагачувальною завдяки поглибленому амілолізу крохмалю, інтенсифікації бродіння, що позитивно вплинуло на питомий об'єм хліба, кислотність, намокання м'якушки. При цьому масова частка цукру в хлібі не зростала.

Внесення солоду разом зі збагачувальною сумішшю позитивно вплинуло на якість хліба як з жорнового, так і з вальцьового борошна. Проте питомий об'єм хліба став суттєво нижчим, ніж у зразках тільки з солодом, а також знизилися показники, що характеризують свіжість хліба.

Додаткове внесення сухої пшеничної клейковини в тісто із солодом і з сумішшю збагачувальною суттєво покращує питомий об'єм хліба, пористість та показники свіжості хліба. На 36 год зберігання непакованого хліба з додаванням солоду та сухої клейковини кришкуватість м'якушки була вдвічі меншою, а показник її намокання був вищим на 23% і 29% відповідно для зразків із суміші борошна жорнового та вальцьового помелу і з борошна вальцьового помелу. На 72 год кращі показники свіжості мав хліб із жорновим борошном.

Як показали результати досліджень, для одержання хліба високої якості при використанні борошна жорнового помелу з ЧП вище 300 с додавання клейковини має бути не менше 3% до маси борошна. Для хліба, збагаченого сумішшю з борошна житнього вальцьового помелу з ЧП нижче 300 с та низьким ступенем пошкодження крохмалю, для поліпшення питомого об'єму, пористості та подовження свіжості достатньо додавати 2% сухої пшеничної клейковини до маси борошна.

Висновки. Встановлено, що вплив солоду ферментативно-активного на структурно-механічні властивості тіста із житнього борошна з високим числом падіння ідентичний з впливом суміші збагачувальної, яка включає різні види борошна: борошна з топінамбура, борошна з частково знежиреного насіння (знежиреного насіння кунжуту, знежиреного насіння гарбуза, знежиреного горіха волоського).

Проте механізм впливу суміші і солоду був різним. Солод призводив до зниження крутного моменту в модельному тісті завдяки амілолізу крохмалю борошна під впливом ферментів солоду, а суміш — за рахунок внесення власних водорозчинних речовин.

Це було підтверджено якістю хліба, випеченого з додаванням окремо солоду, суміші збагачувальної та їхнього сумісного внесення. Солод поліпшував якість і подовжував свіжість хліба, а суміш збагачувальна, навпаки, погіршувала ці показники.

У результаті проведених досліджень запропоновано удосконалену технологію хліба житнього поліпшеної якості та подовженого терміну свіжості з борошна житнього з високим числом падіння, обґрунтовано внесення в рецептуру хліба суміші збагачувальної у кількості 10% і солоду ферментативно-активного у кількості 0,375...0,750% з обов'язковим внесенням сухої пшеничної клейковини — 2...3% до маси житнього борошна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ковальова, В. П., Ковальов, М. О., Макаренко, В. Г. (2024). Аналіз хлібопекарської якості житнього борошна. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць. Харків*. 2(36), 43—53.
2. Жито озиме. URL: <https://yuriev.com.ua/ua/katalog-produkcii/katalog/zhito-ozime/> (дата звернення 17.06.2024).
3. Жито великих людей. URL: <https://www.kws.com.ua/uk/produkty/hibrydne-zhyto/proekt-zhyto-velykuyh-lyudej/> (дата звернення 15.05.2024).
4. Жито просто закінчилося. Рибчинський про причини подорожчання хліба. URL: <https://www.ukr.radio/news.html?newsID=107687> (дата звернення 18.06.2025).
5. Поліпшувач хлібопекарський «ПОЛ 104» Magimix™ URL: <https://lesaffre.ua/products/polipshuvach-hlibopekarskij-pol-104magimix> (дата звернення 17.06.2025).
6. Struyf, N., Verspreet, J., Verstrepen, K. J., Christophe, M. (2017). Investigating the impact of α -amylase, α -glucosidase and glucoamylase action on yeast-mediated bread dough fermentation and bread sugar levels. *Courtin. Journal of Cereal Science*, 75, 35—44. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521016304775> (дата звернення 17.06.2025).
7. Дробот, В. І. (2024). *Технологія хлібопекарського виробництва*: підручник. 2-ге вид., доп. та перероб. Київ: ПрофКнига.
8. Волощук, Г. І., Назар М. І., Науменко, О. В., Рак, В. П., Стадник, С. Б. (2022). Дослідження використання солоду житнього неферментованого для поліпшення якості хліба: матеріали 2-ї всеукраїнської науково-практичної конференції «Інноваційні та ресурсозаощадливі технології харчових виробництв». Полтава: ПДАУ.
9. Волощук, Г. І., Пашова, Н. В., Онищук, Н. І., Федонюк А. В. (2018). Вплив технологічних параметрів приготування заварного хліба із житнього борошна на масову частку цукру в хлібі: матеріали міжнародних науково-практичних конференцій «Інноваційні технології у хлібопекарському виробництві» та «Здобутки та перспективи розвитку кондитерської галузі». К.: НУХТ
10. Гаврецький, А., Повалаяєв, Г., Волощук, Н., Пашова. (2019). Топінамбур та борошно насіння олійних культур у хлібі для хворих на діабет. *Продовольча індустрія АПК*, 3—4, 26—28.
11. Патент 40623 Україна, МПК А 23 L 1/10. Спосіб визначення показника глікемічності харчового продукту / Дорохович А. М., Ковбаса В. М., Гуліч М. П., Дорохович В. В., Яременко О. М.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій; заявл. 10.07.08; опубл. 27.04.09, Бюл. № 8.
12. Волощук, Г. І., Пашова, Н. В., Стадник, С. Б., Науменко, О. В. (2021). Вплив борошна з макухи олійних культур на вміст цукрів у житньому хлібі. *Збірник наукових праць «Продовольчі ресурси»*, 16, 57—68.
13. Зуйко, В. І. (2017). *Удосконалення технології житньо-пшеничного хліба для закладів ресторанного господарства*: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.18.06. Київ: НУХТ.
14. Волощук, Г. І., Науменко, О. В., Рак, В. П. (2022). Проблеми збагачення хлібобулочних виробів мінеральними речовинами: Х Міжн. науково-практ. онлайн конференція молодих вчених і

спеціалістів «Селекція, генетика та технології впровадження сільськогосподарських культур». Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН.

15. Дробот, В. І., Михонік, Л. А., Семенова, А. Б., Фалендиш, Н. О. (2018). *Борошно стародавніх пшениць, продукти переробки круп'яних культур та шроту у технології хліба*: моногр. Київ: ПрофКнига.

16. Патент 120603 Україна, МПК А21D2/36(2006.А21D8/02). Хліб житній заварний збагачений / Пашова Н. В., Волощук Г. І.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій; заявл. 25.05.2017; опубл. 10.11.2017, Бюл. №21.

17. Волощук, Г. І. Пашова, Н. В., Грегірчак, Н. М., Карпик, Г. В. (2018). Вплив борошна знежиреного насіння олійних культур та порошку топінамбура на якість та безпечність житнього хліба. *Збірник наукових праць «Продовольчі ресурси»*, 11, 139—147.

18. Voloshchuk, H., Pashova, N., Golikova, T. (2018). Effect of fractionally defatted flour of seeds on the structural and mechanical properties of rye dough. *Food and Environment Safety*, XVI(4), 167—179.

19. Доценко, В. Ф. (1994). Наукове обґрунтування і розробка технології хліба з використанням нової вуглеводмісної сировини та цукрозамінників: автореф. дис. ... д-ратехн. наук: 05.18.01. Київ: НУХТ.

20. Арсеньєва, Л. Ю. (2007). Наукове обґрунтування та розроблення технології функціональних хлібобулочних виробів з рослинними білками та мікронутрієнтами: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.01. Київ: НУХТ.

21. Пашова, Н. В., Волощук, Г. І., Фоменко, В. В., Манк, В. В. (2019). Вплив борошна знежиреного насіння олійних культур і топінамбура на черствіння житнього хліба. *Наукові праці НУХТ*, 25(2), 204—216.

22. Дробот, В. І., Арсеньєва, Л. Ю., Білик, О. А. та ін. (2006). *Лабораторний практикум з технології хлібопекарського і макаронного виробництва*. Центр навч. літератури.

23. Дробот, В. І., Юрчак, В. Г., Білик, О. А., Бондаренко, Ю. В. та ін. (2015). Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних та макаронних виробів: навчальний посібник. Київ: Кондор-Видавництво.

УДК 664.6

INNOVATION AND QUALITY MANAGEMENT IN THE TECHNOLOGY OF TRADITIONAL AND ORGANIC COOKIES WITH WHOLE GRAIN MILLED FLOUR

Yu. Kambulova, O. Kokhan, A. Vorvykhvost, T. Yaniuk, N. Falendysh, K. Homeniuk

National University of Food Technologies

Key words:

whole grain flour,
stone ground,
shortbread cookies,
enzymes,
glucoamylase,
cellulase

Article history:

Received 24.08.2025

Received in revised form
29.08.2025

Accepted 31.08.2025

Corresponding author:

Kambulova.julya@ukr.net

ABSTRACT

The article presents the results of research on the quality indicators of whole grain stone-ground wheat, spelt, barley, amaranth flour, and green buckwheat flour for use in cookie production. It has been established that whole grain flour has organoleptic properties characteristic of a particular type of grain and differs significantly from high-grade wheat flour. In terms of whiteness, spelt and barley samples are the lightest, while wheat and amaranth flour are the darkest.

The granulometric composition of stone-ground whole grain flour is heterogeneous. The size of the main fraction of amaranth and wheat stone-ground flour ranges from 200 to 150 microns, for green buckwheat and barley flour — over 200 microns and within 132—150 microns, respectively, and for spelt flour — over 200 to 150 μm .

Among the samples studied, only whole grain wheat and spelt flour form a gluten complex under standard washing conditions. At the same time, the amount of gluten extracted from them is lower than that from premium wheat flour — by 34.5% for whole wheat and by 24.5% for spelt. The elasticity of the gluten in both samples is rated as good. The gluten of whole wheat flour belongs to group I according to the IDC and is also characterized as good, but due to the presence of dietary fiber, its extensibility is 10% lower than that of premium wheat flour gluten.

Spelt flour gluten belongs to quality group II, but demonstrates 6.7% higher elasticity compared to wheat flour. In stone-ground flour made from barley, buckwheat, and amaranth, gluten structure does not form.

Dough for shortbread cookies made from stone-ground whole grain flour does not have typical viscous-plastic properties, but these characteristics can be improved by adding hydrolytic enzymes. The feasibility of introducing glucoamylase and cellulase, which hydrolyze complex carbohydrates to glucose, improving its structure, has been established. The most effective was the combined use of both enzymes, which reduced the fermentation time by 2—4 hours compared to their separate use.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-15

ІННОВАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ В ТЕХНОЛОГІЇ ТРАДИЦІЙНОГО І ОРГАНІЧНОГО ПЕЧИВА З ЦІЛЬНОЗЕРНОВИМ ЖОРНОВИМ БОРОШНОМ

Ю. В. Камбулова, д-р техн. наук, ORCID ID 0000-0001-7897-8533

О. О. Кохан, канд. техн. наук, ORCID ID 0000-0003-4582-0814

А. М. Ворвихвост, аспірант, ORCID ID 0009-0006-0326-6607

Т. І. Янюк, канд. техн. наук, ORCID ID 000-0003-2589-5042

Н. О. Фалендиш, канд. техн. наук, ORCID ID 0000-0002-2571-3643

К. А. Гоменюк, здобувач

Національний університет харчових технологій

У статті наведено результати досліджень показників якості цільнозернового жорнового пшеничного, спельтового, ячмінного, амарантового борошна і борошна зеленої гречки з метою застосування його в технології печива. З'ясовано, що наявність клітковини і вища його крупність порівняно з пшеничним борошном вищого сорту не забезпечують необхідних в'язко-пластичних характеристик тіста для здобного печива, що потребує корегування. Встановлено доцільність введення глюкоамілази та целюлази, які гідролізують складні вуглеводи до глюкози, покращуючи його структуру. Органолептичні показники тіста і готової продукції обумовлюються видом конкретного зерна.

Ключові слова: цільнозернове борошно, жорновий помел, здобне печиво, ферменти, глюкоамілаза, целюлаза.

Вступ. Технологія печива є складною багатогранною системою, що складається з різноманітних механічних, колоїдних, ферментативних і термічних процесів. Формування показників якості готової продукції в цілому залежить від якості керування цими процесами.

Однією з ключових вимог, що формує умови проведення технологічних процесів у технології борошняних кондитерських виробів, у тому числі печива, є вимоги до якості борошна. Якість і технологічні властивості борошна безпосередньо впливають на структурно-механічні властивості основного напівфабрикату — тіста, визначають консистенцію, зовнішній вигляд готової продукції. Окрім цього, технологічний етап замішування тіста і подальше формування тістових заготовок проводять з урахуванням якісних показників борошна.

Різні технологічні схеми печива передбачають різні вимоги до якості борошна. Наприклад, схеми виробництва затяжного печива передбачають застосування борошна із слабкою по силі клейковиною, з невисокою гідрофільною здатністю, в кількості 20—25%. Для цукрового здобного печива використовують борошно із середньою або слабкою клейковиною в кількості 18—22%, для крекери передбачають застосування борошна із сильною клейковиною в кількості не менше 28% [1, 2]. При цьому основним видом борошна, що використовується в технологіях печива, є пшеничне вищого, рідше — першого сорту. Борошно вищого сорту має світлий колір, низьку зольність (0,50—0,55%) і невелику кількість оболонкових частинок зерна. Надає ніжну текстуру тісту та приємний смак готовій продукції. Борошно першого сорту, яке має дещо більшу зольність (від 0,75 до 0,85%), характеризується темнішими кольорами. Завдяки особливостям отримання і, відповідно, вмісту білка, крохмалю та харчових волокон, сорти борошна мають різну водопоглинальну здатність і відрізняються впливом на якість замішування тіста, тому технологи корегують режими і параметри

проведення технологічних операцій залежно від водопоглинальної здатності борошна з метою отримання сталої якості готового продукту.

Борошно нижчих сортів (другого, обойного, цільнозернове) має включення значної кількості харчових волокон, що погіршує смакові і структурно-механічні показники якості печива. Але тенденції сучасного харчування вимагають збільшення в раціоні корисних речовин, у тому числі харчових волокон, що формує необхідність вивчення питання його застосування в технології борошняних кондитерських виробів для збагачення печива клітковиною, геміцеллозою, целюлозою. На сьогодні розроблено достатньо рецептур. Це і додавання амарантового, гречаного, соргового, кукурудзяного, ячмінного борошна [3—5, 23, 25, 26]. Але аналіз показує, що додавання обмежується незначною кількістю, що пов'язано з погіршенням якості тіста й ускладненням формування тістових заготовок.

З позиції раціонального підходу, на нашу думку, найкращою основою для створення рецептур печива з високим вмістом харчових волокон, природних вітамінних, мінеральних комплексів, є повноцінне застосування природного потенціалу зерна, тобто використання цільнозернового борошна (ЦЗБ) [6]. А регулювання структури такого тіста з метою спрощення технологічних етапів замішування і формування доцільно проводити внесенням ферментних препаратів спрямованого спектра дії.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Ринок борошна представляє споживачеві широкий асортимент цільнозернового звичайного і цільнозернового органічного борошна. Це пшеничне, житнє, спельтове (півб'яне), гречане, вівсяне, ячмінне, кукурудзяне, рисове, нутове, амарантове тощо. Найбільш розповсюджена продукція від ТОВ «Вінницький КХП № 2», ТОВ «Столичний млин», ТОВ «Рівне-Борошно», ТОВ «Зернарі», ДП «Земледар», «Новопокровський КХП», Spangow Mill, борошно органічне від ТМ «Ahimsa», ПП «ЕКО ГАРМОНІЯ». Проте широкого промислового застосування в технологіях борошняних кондитерських виробів воно не знаходить, що пояснюється не тільки особливостями органолептичних показників, але й недостатнім вивченням витань регулювання його технологічних властивостей.

Формування технологічних, органолептичних і фізико-хімічних показників якості цільнозернового борошна відбувається в процесі помелу, причому технологічний процес суттєво відрізняється від отримання сортового борошна. Існує декілька технологічних схем переробки зерна у цільнозернове борошно. Як подрібнювальне обладнання можуть бути використані вальцьові верстати, дробарки чи кам'яні жорнова. Також існує практика використання вальцьових верстатів як основного подрібнювального обладнання, а на останніх системах подрібнення встановлюють жорновий посад чи дробарку. Відповідно до технологічної схеми зерно піддається різним видам деформації (стиснення, зсуву, зрізу, удару, стирання), а тому показники його якості (вологість, зольність, вміст клейковини тощо) будуть відрізнятись. Зокрема, показники вологості дослідних зразків борошна коливаються в межах 14,5...14,9%, показники зольності — 1,13...1,57%, вміст клейковини — 22...28%. Оскільки державного стандарту на борошно пшеничне цільнозернове на сьогодні немає, виробники керуються вимогами якості до борошна пшеничного сортового й обойного та власними технічними умовами [7—9].

При жорновому помелі зерно подрібнюється між двома жорнами (натуральними кам'яними або сучасними штучними). Зберігаються всі компоненти зерна: оболонка, зародок та ендосперм. Борошно має насичений смак і аромат, більш грубу текстуру.

Такий помел вважається одним із найякісніших способів для виробництва цільнозернового борошна. Застосовується переважно невеликими млинами та фермерськими господарствами.

Роликовий помел (індустріальний спосіб) передбачає проходження зерна через роликові вальці, які подрібнюють його до однорідного стану. Отриманий продукт більш однорідний за дисперсністю, але поступається жорновому помелу за смаком і кількістю поживних речовин, які можуть втрачатися через нагрівання зерна під час процесу. Використовується переважно великими комбінатами.

При молотковому помелі використовують молоткові млини, які подрібнюють зерно за допомогою швидкообертючих молотків. Процес може включати нагрівання через тертя. Може втрачатися частина термолабільних вітамінів (наприклад, групи В). Текстура отриманого продукту грубіша, ніж у борошна роликового помелу. Використовується на невеликих підприємствах або в господарствах, які виробляють борошно для локального ринку.

Також існує сучасний спосіб отримання цільнозернового борошна із просіюванням і рекомбінацією, який передбачає подрібнення зерна в кілька етапів. Спочатку видаляють оболонку та зародок, подрібнюють їх окремо і повертають у борошно. Такий спосіб забезпечує більшу однорідність борошна, але в процесі виробництва втрачається частина поживних речовин. Такий помел зустрічається в індустріальному виробництві для зручності переробки великих партій зерна.

Таким чином, лише жорновий помел дозволяє максимально зберегти поживні речовини та природні смакові властивості зерна і передати їх борошну. Його використовують невеликі млини, орієнтовані на локальне крафтове виробництво або виробництво органічного борошна.

При жорновому помелі зерно очищують від пилу, бруду та зовнішніх домішок, але не очищують від оболонки, зародка, алейронового шару. Ці частини разом з ендоспермом потрапляють у борошно, а тому жорнове борошно має високий вміст клітковини, антиоксидантів, вітамінів В, РР, Е і Н, мінеральних речовин (кальцію, калію, натрію, магнію, заліза тощо). Однак деякі втрати термолабільних вітамінів (наприклад, вітаміну В₁) можуть спостерігатись на етапі сушіння зерна, при застосуванні високих температур, якщо виникає потреба у зменшенні його вологості перед розмелом.

Харчова цінність цільнозернового борошна залежить від природного хімічного складу зерна (табл. 1). Так, порівняно з борошном пшеничним вищого сорту в цільнозерновому пшеничному борошні міститься в 12,5 рази більше клітковини, в 5,8 — магнію, 3,9 — фосфору, 3,4 — заліза, 2,1 — кальцію, а також в 3,7 рази — вітаміну РР, вдвічі більше вітамінів групи В, а також значна кількість вітаміну Е.

Таблиця 1. Хімічний склад цільнозернового борошна [10—14]

Компонент	Вид зерна						
	пшеничне в/с	пшеничне цз	житнє	спельтове	вівсяне	гречане	кукурудзяне
Білки, г	10—12	13—14,5	10—11,6	14—17	12—18	13—14,7	10,5
Жири, г	0,4—2	1—1,8	1,8—2	2,5	6—7	3	5,3
Вуглеводи, г	74—76	72—82	70	68	66—72	71	82,9
Клітковина, г	2—3	10—14	15—17	10,7	10—11,6	10—11,1	8,1
Крохмаль, г	68—72	60	55	55—60	50—55	60	
Вітамін Е, мг	0,1—0,2	1,2—1,5	0,9—1,0	1,0	0,1—0,6	0,1—0,7	0,6—0,7
Тіамін (В ₁), мг	0,05—0,1	0,4—0,5	0,4	0,4	0,45—0,8	0,1—0,4	0,2—0,4
Рибофлавін (В ₂), мг	0,01—0,04	0,1—0,2	0,15—0,3	0,2	0,15—0,2	0,15—0,5	0,06—0,2

Продовження таблиці 1

Ніацин (В ₃), мг	0,5	4,5	4	6	1	3,5	1,7
Піридоксин (В ₆), мг	0,03—0,1	0,3—0,4	0,3—1,0	0,4	0,2	0,2	0,06
Фолієва кислота (В ₉), мкг	20	45	40	45	32	30	46
Кальцій, мг	14,7—15	30—33,5	20—26,9	25	54—58,8	19—20	7,8
Магній, мг	22	140	120	130	135	231	37
Фосфор, мг	80	320	250	350	390	347	89
Калій, мг	100	410	400	400	360	460	270
Натрій, мг	2	2	2	2	5	1	15
Залізо, мг	0,6—1,1	3,5—3,7	2,9—3	4	4—5,1	2,4—4	0,52—3,0
Цинк, мг	0,4—0,7	3—3,1	2,5	4	3,6	3,1	0,45
Мідь, мг	0,1	0,5	0,4	0,5	0,6	0,64	
Марганець, мг	0,1	4	3,5	3,8	5	1,3	0,5

Спельтове цільнозернове борошно містить високий вміст білка (до 14—17%), зокрема легкозасвоюваного. Багате на вітаміни групи В, магній, залізо, цинк, марганець. Вівсяне цільнозернове борошно багате на β -глюкани, характеризується вищим вмістом кальцію, фосфору, натрію, магнію, заліза, марганцю. Гречане цільнозернове борошно вирізняється високим вмістом білка, кальцію, фосфору, заліза. Житнє цільнозернове борошно характеризується високим вмістом клітковини, заліза, калію. Кукурудзяне борошно багате на клітковину, вітаміни групи В та Е, мінерали (магній, калій, залізо, фосфор, натрій).

Таким чином, харчова цінність цільнозернового борошна вигідно вирізняє його порівняно з пшеничним борошном вищого сорту. Всі види цільнозернового борошна багаті на вітамін Е, мають вищий вміст клітковини, вітамінів групи В, мікро- і макроелементів. Це обґрунтовує доцільність його використання як основи для асортименту борошняних кондитерських виробів. Проте велике значення мають такі показники, як кількість і якість клейковини, кислотність, крупність помелу, які досліджені обмежено.

Метою дослідження є вивчення показників якості цільнозернового борошна різних зернових культур, отриманого жорновим помелом, і надання рекомендацій щодо його застосування в технологіях різних видів печива.

Матеріали і методи. Для проведення досліджень було обрано борошно ДП «Земледар», Україна, — жорнове цільнозернове пшеничне, спельтове, ячмінне, амарантове, зеленої гречки. Для покращення структури тіста застосовували ферментні препарати компанії Mühlenchemie, Німеччина — грибку глюкоамілазу Omnszym 31022 і грибку целюлазу Alphamalt C 21032.

Масову частку вологи в борошні визначали термогравіметричним методом згідно з ISO 712 прискореним висушуванням в СЕШ [15]. Білість борошна оцінювали на фотоелектричному приладі РЗ-БПЛ за ГОСТ 26361 [16] шляхом вимірювання відбивної здатності його ущільнено-згладженої поверхні. Загальну кислотність визначали титруванням борошняної суспензії з 5 г борошна і 50 см³ дистильованої води 0,1 моль/дм³ розчином лугу КОН або NaOH за АОАС 939.05 [17]; зольність борошна — спалюванням наважки з прискорювачем Mg(CH₃COO)₂ [18].

Крупність борошна оцінювали за допомогою розсійника лабораторного з частотою коливань 180...200 хв⁻¹ та набором сит для визначення розміру та масової частки частинок борошна за АОАС 965.22 [19]. Використовували сита, призначені для різних сортів борошна: № 075, № 067, № 41/43, № 24,7, № 49/52 [20].

Вміст сирієї клейковини і її якість визначали у тісті з наважки борошна 25 г і 14 см³ води після витримки 20 хв. Для визначення розтяжності, еластичності, опору деформуючому навантаженню дві наважки клейковини по 4 г заковували у кульки, занурювали у воду при температурі 18...20 °С на 15 хв [1].

Еластичність клейковини оцінювали за швидкістю відновлення початкової довжини кульки клейковини після розтягування на відстань близько 2 см. За ступенем та швидкістю відновлення первинної довжини еластичність оцінюють як: добра — клейковина розтягується досить сильно при обов'язковому практично повному відновленні форми; незадовільна — зовсім не відновлюється, з частковими розривами окремих шарів і після зняття зусилля швидко стискається (пружна, нееластична); задовільна — проміжне положення між доброю та незадовільною.

Розтяжність клейковини оцінювали над лінійкою за градацією: коротка — до 10 см, середня — 10...20 см, довга — більш 20 см.

Опір клейковини деформуючому навантаженню стиску визначали на приладі ІДК, од. пр.

Колір борошна визначали згідно ISO 11664-2:2007 на колориметрі CR-400 Konica Minolta (Японія) у декартових координатах CIELab, де L^* позначає світлоту (від 0 — чорний до 100 — білий), a^* і b^* представляють протилежні колірні координати, що варіюються від -60 до +60. При цьому негативне a^* є зеленим, а позитивне a^* — червоним, тоді як негативне b^* є синім, а позитивне b^* — жовтим. Параметри відкалібровані за стандартним білим фарфором з площею вимірювання діаметром 8 мм, кутом спостереження 10° і джерелом світла D65 з включеним дзеркальним компонентом [21].

Якість ферментативних процесів під впливом гідролаз оцінювали за накопиченням цукрів у модельному тісті, у перерахунку на глюкозу. Для цього замішували тісто з наважки борошна 25 г, ферментного препарату грибною глюकोамілази або грибною целюлази, або їх комплексу та 14 см³ води, залишали тісто для ферментації на 360 хв у термостаті за температури 32 °С. Протягом ферментації відбирали зразки тіста і проводили кількісне визначення глюкози, що накопичується, йодометричним методом. Глюкоамілазу вводили із розрахунку 12,5 г на 100 кг борошна, целюлазу — 20 г на 100 кг борошна. При сумісному введенні глюकोамілази і целюлази використовували ті самі розрахункові кількості [22].

Результати досліджень. Технологічний підбір та якість борошна забезпечать досягнення необхідного зовнішнього вигляду, смаку й запаху, текстури готової продукції. Визначено показники якості борошна, взятого для досліджень (табл. 2).

Таблиця 2. Показники якості цільнозернового борошна

Показник	Вид борошна				
	пшеничне вищого сорту	цільнозернове жорнове			
		пшеничне	спельтове	ячмінне	амарантове
Зовнішній вигляд	Однорідна порошкоподібна маса, без грудочок	Однорідна порошкоподібна маса, без грудочок, наявні видимі частинки оболонки зерна			
Колір	Світло-кремовий	Світло-сірий з відтінками світло-коричневого	Світло-кремовий з сірим відтінком	Світло-сірий з бежевим відтінком	Світло-сірий з бежевим відтінком

Продовження таблиці 2

Смак і запах	Властивий зерну, чистий, без сторонніх присмаків і запахів					
Масова частка вологи, %	12,2	12	11,9	12	9,6	11,7
Загальна кислотність, град	1,40	5,10	5,00	7,20	10,80	6,60
Зольність, (за ДСТУ)	0,55	1,34	1,67	1,0	1,67	2,33
Білість, ум. од.	59	-43,85	29,05	33	-49,20	5,85

За оцінкою органолептичних показників усі види борошна відповідали ознакам, притаманним вихідному зерну: характерний колір, властивий смак і запах. У кожному виді спостерігались подрібнені частинки оболонки зерна. Борошно пшеничне мало кремовий колір, спельтове — світло кремовий з відтінками жовтуватого, ячмінне — світло сірий, амарантове — насичено кремовий з жовтуватим відтінком, зеленої гречки — світло сірий з бежевим відтінком.

Масова частка вологи для всіх зразків мала приблизно однакові значення — від 11,7 до 12,2%, крім борошна амарантового, в якому цей показник був значно менший — 9,6%. Це насамперед пов'язано з низькою вологістю самого зерна амаранту й узгоджується з дослідженнями авторів [23] — 9,7...9,9% для різних зразків повножирного амарантового борошна. Борошно амарантове також характеризується найвищими значеннями показника загальної кислотності серед досліджуваних зразків (у 7,7 раза вище за борошно пшеничне), що вочевидь пов'язано з високим вмістом, пептидів і амінокислот, жирів і жироподібних речовин, ферментів, значною кількістю мінеральних речовин, як зазначено в публікації авторів [24]. Також досить високі значення загальної кислотності відмічені для борошна ячмінного — у 5,1 раза більше порівняно з пшеничним. При цьому й інші види дослідного борошна за показником загальної кислотності перевищували значення контрольного зразка пшеничного борошна вищого сорту (борошно зеленої гречки — у 5,1 раза, спельтове і пшеничне цільнозернове — у 3,6 раза), що обумовлюється значним вмістом оболонкових і зародкових частинок, жирів і білків [25]. Зольність усіх зразків цільнозернового борошна закономірно перевищувала зольність пшеничного борошна вищого сорту, при цьому найменші значення показника спостерігались для ячмінного цільнозернового — 1,0%, а найвищі значення зафіксовано для борошна зеленої гречки — 2,33%.

Визначення показника білості, який обумовлюється значною кількістю харчових волокон, природних каротиноїдів, мінеральних речовин і пов'язаний із кольором зерна, дозволило виділити світліші зразки (зразки борошна спельтового і ячмінного) і найтемнішими (зразки пшеничного й амарантового).

Більш детально білість і колір борошна було визначено інструментально за допомогою колориметра CR-400 Konica Minolta (табл. 3).

Таблиця 3. Показники кольору борошна

Зразок	L білість (від 0 — чорний до 100 — білий)	a* від «-50» — зелений до «+50» — червоний	b* від «-50» — синій до «+50» — жовтий
Борошно пшеничне в/с	94,70	0,46	7,62
Борошно цільнозернове пшеничне	79,53	3,60	11,37
Борошно цільнозернове спельтове	91,00	1,51	8,98

Продовження таблиці 3

Борошно цільнозернове ячмінне	92,03	0,94	7,36
Борошно цільнозернове амарантове	80,74	3,38	17,03
Борошно цільнозернове зеленої гречки	87,73	1,28	7,41

Результати збігаються з отриманими даними щодо білості борошна і підтверджують, що найсвітлішими серед дослідних зразків є зразки спельтового і ячмінного борошна, для яких показник білості L^* є вищим за інші види, а найтемнішими є борошно пшеничне цільнозмелене й амарантове. При цьому спектр колірних координат a^* показав відсутність у всіх зразках зелених відтінків, а наявність червоних, слабо-виражених — для борошна цільнозмеленого ячмінного, спельтового і зеленої гречки, більш інтенсивних, — для пшеничного і амарантового. Спектр b^* показав виражені жовті відтінки пшеничного й амарантового цільнозмеленого борошна, а для ячмінного, борошна зеленої гречки, спельтового — менші значення жовтизни, які наближаються до борошна пшеничного вищого сорту. Таким чином, природна пігментація борошна пшениці і ячменю характеризується більш насиченими жовто-червоними відтінками порівняно з ячмінним, спельтовим і борошном зеленої гречки.

Результати визначення крупності досліджуваних видів борошна представлено в табл. 4.

Таблиця 4. Крупність борошна

Сито	Розмір отворів, мкм	Вид борошна					
		пшеничне вищого сорту	цільнозернове жорнове				
			пшеничне	спельтове	ячмінне	амарантове	зеленої гречки
Залишок на ситі, %							
№ 075	750	—	2,55	0,49	4,55	0,95	0,53
№ 067	670	—	1,96	1,75	7,36	0,15	0,58
№ 41/43	200	—	68,5	47,51	57,77	87,29	51,07
№ 24,7	150	—	0,10	36,22	0,41	0,36	0,05
№ 49/52	132	0,4	11,73	8,45	16,54	12,14	36,67
Прохід крізь сито, %							
№ 49/52	144	99,6	15,33	3,25	12,72	2,49	10,3

Аналіз даних табл. 4 підтверджує вищу крупність частинок жорнового цільнозернового борошна порівняно з пшеничним вищого сорту: у кожного з досліджуваних зразків є залишки на ситах № 075, 067, 41/43, 24,7. При цьому більшим вмістом найкрупніших фракцій (за залишком на ситах № 075 і 067) відрізняються борошно цільнозернове ячмінне і пшеничне (11,91% і 4,51%, відповідно). Основна крупність цільнозернового жорнового борошна амарантового і пшеничного припадає на розмір в інтервалі 200—150 мкм, що проходить крізь сито 41/43 і залишається на ситах № 24, 7. Основні фракції цільнозернового борошна зеленої гречки і борошна ячмінного — це фракції з розмірами частинок >200 мкм, що відповідають залишкам на ситах 41/43 і 132...150 мкм, які залишаються на ситі 49/52. Для борошна спельтового ступінь подрібнення коливається в розмірах частинок >200...150 мкм, що залишаються на ситах 41/43 і 24,7. Вміст найдрібнішої фракції, що відповідає проходу крізь сито 49/52 (132 мкм) і розмірам частинок борошна пшеничного вищого сорту, відмічено найбільше в цільнозерновому пшеничному, ячмінному і борошні зеленої гречки.

При визначенні кількості і якості клейковини (табл. 5) з'ясували, що глютенівий комплекс за стандартних умов відмивання утворюється лише в борошні пшеничному і спельтовому.

Таблиця 5. Кількість та якість клейковини

Сито	Вид борошна					
	пшеничне вищого сорту	цільнозернове жорнове				
		пшеничне	спельтове	ячмінне	амарантове	зеленої гречки
Клейковина	24,9	16,3	18,8	Не відмивається		
Еластичність	Добра	Добра	Добра	—	—	—
Розтяжність, см	15	13,5	16	—	—	—
ІДК, од. пр.	67,9	49,4	82,2	—	—	—

При цьому кількість відмитої клейковини була меншою порівняно з борошном пшеничним на 34,5% (для цільнозернового пшеничного) і на 24,5% (для цільнозернового спельтового). Еластичність клейковини всіх зразків характеризується як добра, проте розтяжність і група різні: цільнозернове борошно пшеничне відноситься до І групи за ІДК і характеризується як добра, але завдяки волокнам має на 10% меншу розтяжність порівняно із сортовим пшеничним борошном і на 27% має міцнішу структуру. Клейковина борошна спельтового за якістю відноситься до ІІ групи, характеризується як задовільно слабка, її розтяжність більша порівняно з клейковиною борошна пшеничного вищого сорту на 6,7%.

В інших видах жорнового борошна, цільнозернового ячмінного, гречаного, амарантового, клейковинний каркас не сформувався. Фракції білків, нерозчинних у воді, в комплексі з харчовими волокнами розклалися на окремі фрагменти, без утворення суцільної структури.

Отримані дані збігаються з даними авторів, які використовували цільнозернове борошно амаранту і зеленої гречки як безглютеніві види для безглютенівих коржів [26], а також для безглютенівого хліба, макаронів, крекерів і печива [27].

У результаті проведеного дослідження підтверджено відмінність показників якості жорнового цільнозернового борошна від сортового, а також відмінність показників якості у борошна різних видів зернових культур.

З метою визначення придатності досліджуваного борошна для використання в технології печива оцінено органолептичні характеристики тіста для здобного пісочно-виїмного печива з повною заміною борошна пшеничного вищого сорту. Для досліджень використана традиційна рецептура здобного пісочно-виїмного печива «Пісочно-вершкове». Зовнішній вигляд тіста, його колір представлено на рис. 1.

Видно, що частинки харчових волокон надають достатньо пружну структуру тісту, розсіпчасту, крихку, з нерівними краями, в усіх зразках зменшується пластичність. Тісто характеризується темнішим кольором, характерним пігментації борошна. Запах зразків був чистий, без стороннього, притаманний зерну. При цьому тісто з пшеничного, спельтового, ячмінного борошна не вирізнялось яскравим характерним запахом.

Отже, важливим загальним підсумком проведених досліджень стало підтвердження негативного впливу оболонкових частинок і крупності жорнового цільнозернового борошна на формування структури тіста для печива. З метою її коригування було використано позитивний досвід регулювання технологічних властивостей борошна ферментними препаратами [28]. Було доцільно дослідити комплекс ферментів, які мають гідролітичну дію на основні макроелементи борошна.

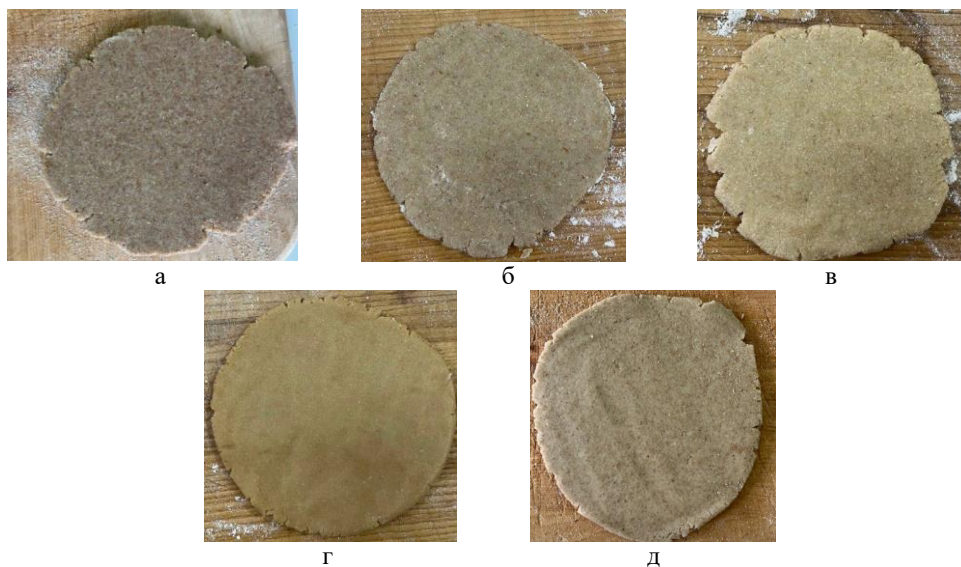


Рис. 1. Зовнішній вигляд тіста на основі борошна: цільнозернового пшеничного (а), спельтового (б), ячмінного (в), амарантового (г) і зеленої гречки (д)

У дослідженнях було використано ферменти глюкоамілазу для гідролітичного розщеплення крохмалю борошна, і целюлазу — для гідролітичного розщеплення целюлози і її похідних. Ферменти додавали в модельну систему борошна і води, окремо і за сумісного введення. Результати накопичення глюкози, як основного продукту гідролізу, наведено у табл. 6.

Таблиця 6. Кількість редукуючих цукрів, у перерахунку на глюкозу, що накопичуються в процесі ферментативного гідролізу борошна

Сито	Вид борошна														
	цільнозернове жорнове														
	пшеничне			спельтове			ячмінне			амарантове			зеленої гречки		
Глюкоамілаза															
Час ферментації, год	0	3	6	0	3	6	0	3	6	0	3	6	0	3	6
Кількість глюкози, %	1,23	2,53	4,82	0,9	2,19	3,99	1,55	3,59	6,03	0,95	5,84	8,76	0,24	1,48	2,90
Целюлаза															
Час ферментації, год	0	3	6	0	3	6	0	3	6	0	3	6	0	3	6
Кількість глюкози, %	1,23	3,8	4,75	0,9	2,72	3,62	1,55	2,78	3,89	0,95	2,18	4,32	0,24	1,76	2,60
Глюкоамілаза і целюлаза															
Час ферментації, год	0	2	4	0	2	4	0	2	4	0	2	4	0	2	4

Встановлено, що додавання ферментних препаратів сприяє накопиченню глюкози, що призводить до збільшення частки водорозчинних сполук і покращує консистенцію тіста. Так, додавання глюकोамілази до модельної системи тіста із цільнозернового пшеничного тіста дозволяє на 6 год збільшити кількість глюкози у 4,1 раза, із спельтового борошна — у 4,43 раза, на основі ячмінного борошна — у 3,72 раза, із амарантового — у 9,2 раза, із зеленої гречки — у 12,1 раза.

Процес ферментативного гідролізу крохмалю, при меншій кількості застосовуваної глюкоамілази, відбувається швидше порівняно з гідролізом целюлози. Тобто піддатливість крохмального зерна, наявність ушкоджених у процесі помелу зерен обумовлюють кращу доступність субстрату й атакованість ферментом. Так, за 6 год ферментації для зразка з пшеничним борошном під дією целюлази накопичується на 1,15% глюкози менше, ніж під дією глюкоамілази, для зразка зі спельтовим — на 9,27% для зразка з ячмінним — на 28,4%, з амарантовим — на 50,7%, з борошном зеленої гречки — на 10,3%.

Сумісне застосування ферментів пришвидшує процес і покращує консистенцію тіста, що призводить до скорочення процесу ферментації. Так, для зразків з пшеничним борошном за сумісного введення ферментів кількість накопиченої за 6 год глюкози від поодинокого внесення ферментів досягається через 2 год. Практично те саме спостерігається і для зразків зі спельтовим борошном. Для зразків з борошном ячмінним — за 3 год, з борошном зеленої гречки — за 4,1 год, з амарантовим — за 4,5 год. Такий результат матиме значний вплив на технологічний процес виробництва печива.

Висновки. На основі проведених наукових досліджень показників якості цільнозернового борошна, отриманого жорновим помелом, з метою обґрунтування можливості його застосування в технології печива, зроблено такі висновки: цільнозернове борошно має органолептичні властивості, притаманні конкретному виду зерна, і суттєво відрізняється від сортового пшеничного борошна за зовнішнім виглядом, смаком, запахом і кольором. За рівнем білості найсвітлішими є зразки зі спельти та ячменю, тоді як найтемнішими — пшеничне та амарантове борошно. Крім того, природна пігментація пшеничного та ячмінного борошна має більш виражені жовто-червоні відтінки порівняно з борошном зі спельти, ячменю та зеленої гречки.

Гранулометричний склад жорнового цільнозернового борошна є неоднорідним, оскільки його частинки мають різні розміри. Основна фракція кожного виду такого борошна за крупністю перевищує частинки пшеничного борошна вищого сорту. Зокрема, розмір основної фракції амарантового та пшеничного жорнового борошна становить від 200 до 150 мкм, для борошна з зеленої гречки та ячменю — понад 200 мкм і в межах 132—150 мкм відповідно, а для спельтового борошна — понад 200 до 150 мкм.

Серед досліджених зразків лише цільнозернове пшеничне та спельтове борошно утворюють глютенний комплекс за стандартних умов відмивання. Водночас кількість виділеної клейковини в них є меншою, ніж у пшеничного борошна вищого сорту — на 34,5% для цільнозернового пшеничного та на 24,5% для спельтового. Еластичність клейковини обох зразків оцінюється як добра. Клейковина пшеничного цільнозернового борошна належить до I групи за ІДК, також характеризується як добра, однак через наявність харчових волокон її розтяжність на 10% нижча, ніж у клейковини пшеничного борошна вищого сорту. Клейковина спельтового борошна належить до II групи за якістю, але демонструє на 6,7% вищу розтяжність порівняно

з пшеничним сортовим борошном. У жорновому борошні з ячменю, гречки та амаранту глютенів каркас не формується.

Тісто, приготовлене з жорнового цільнозернового борошна, не має типових в'язко-пластичних властивостей, однак ці характеристики можна покращити шляхом додавання ферментів гідролітичної дії. Дослідження показали, що використання глюकोамілази та целюлази сприяє підвищенню рівня глюкози в тісті, що, у свою чергу, збільшує вміст водорозчинних сполук і покращує консистенцію тіста. Найбільш ефективним виявилось комбіноване застосування обох ферментів, яке дозволило скоротити тривалість ферментації на 2—4 год порівняно з їх окремим використанням.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Технологія та лабораторний практикум кондитерських виробів і харчових концентратів*: навч. посіб. / за ред. проф. А. М. Дорохович і проф. В. М. Ковбаси. К.: Фірма «ІНККОС», 2015.
2. Дорохович, А. М. Дорохович, В. В., Абрамова, А. Г., Петренко, М. М. (2022). *Технологія печива звичайного і спеціального призначення*: навч. посіб. К.: Фірма «ІНККОС».
3. Іоргачова, К. Г., Макарова, О. В., & Хвостенко, К. В. (2017). Підвищення та стабілізація якості борошняних кондитерських виробів завдяки використанню різних видів борошна. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 5(1), 217—228.
4. Іоргачова, К. Г., Макарова, О. В., & Котузаки О. М. (2010). Бісквітні напівфабрикати на основі борошна з продуктів переробки гречки. *Зернові продукти і комбікорми*, 4, 12—15.
5. Дзигар, О. О., Стадник, Т. Б. & Оболкіна, В. І. (2018). Перспективи використання амарантового борошна та гуміарабіку при створенні нового асортименту борошняних кондитерських виробів. *Інноваційні технології у хлібопекарському виробництві, Здобутки та перспективи розвитку кондитерської галузі*: матеріали Міжнародних науково-практичних конференцій, 11—13 вересня 2018 р. Київ: НУХТ.
6. Khan, J., Gul, P. & Liu, Кю (2024). Grains in a modern time: a comprehensive review of compositions and understanding their role in type 2 diabetes and cancer *Foods*, 13, 2112. <https://doi.org/10.3390/foods13132112>.
7. Carcea, M., Turfani, V., & Narducci V. (2020). Stone milling versus roller milling in soft wheat: influence on products composition. *Foods*, 1, 3. <https://doi.org/10.3390/foods9010003>.
8. *Tecnica Molitoria International: yearly issue 2020*. Pinerolo: Chirioti Editori, 2020. 146 p. ISSN 0040-1862.
9. *Якість борошна: як помел впливає на випічку / The Miller*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://the-miller.com/uk/blog/flour_quality_how_milling_affects_baking (дата звернення 05.09.2025).
10. Fištes, A., Došenović, T., & Rakić, D. (2014). Statistical analysis of the basic chemical composition of whole grain flour of different cereal grains. *Acta Universitatis Sapientiae — Alimentaria*, 7, 45—53.
11. Дробот, В. І., Семенова, А. Б. & Михонік Л. А. (2014). Порівняльна характеристика хімічного складу та технологічних властивостей суцільнозмеленого пшеничного борошна та борошна спельти. *Зберігання та переробка зерна*, 4, 37—39.
12. Peterson, D. M. (1992). Composition and nutritional characteristics of oat grain and products // *Oat Science and Technology. Agronomy Monograph no. 33* / eds. H. G. Marshall, M. E. Sorrells. Madison: American Society of Agronomy; *Crop Science Society of America*, 265—290. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr33>.
13. Dziadek, K., Kopeć, A., & Pastucha, E. (2016). Basic chemical composition and bioactive compounds content in selected cultivars of buckwheat whole seeds, dehulled seeds and hulls. *Journal of Cereal Science*, 69, 1—8. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.02.004>.
14. Моргун, В. О., Ковтун, Л. Я. (2008). Розробка нового сорту житнього борошна. *Наукові праці ОНАХТ*, 34(1), 36—39.
15. ДСТУ ISO 712:2015. Зернові та продукти з них. Визначення вмісту вологи. Контрольний метод (ISO 712:2009, IDT). [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 14 с.
16. ДСТУ ГОСТ 26361:2019. Борошно. Метод визначення білизни (ГОСТ 26361-2013, IDT). [Чинний з 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 15 с.

17. AOAC Official Method 939.05. Acidity (Titrimetric Method). (1990) *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Washington, D.C.: AOAC International.
18. ДСТУ ISO 2171:2009. Зернові, бобові та продукти їх помелу. Визначення загальної золи методом озоловання (ISO 2171:2007, IDT). [Чинний від 2011-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2009. 15 с.
19. AOAC Official Method 965.22. Sieve test for flour and semolina. (1990). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Rockville, MD: AOAC International.
20. ГСТУ 46.004-99. Борошно пшеничне. Технічні умови. [Чинний від 1999-08-15]. Вид. офіц. Київ: Київський інститут хлібопродуктів, 1999. 15 с.
21. ISO 11664-2:2007. Colorimetry — Part 2: CIE Standard Illuminants. Geneva: International Organization for Standardization, 2007.
22. ДСТУ 5059:2008. Вироби кондитерські. Методи визначання цукрів. [Чинний з 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2008.
23. Миколенко, С. Ю., Жигунов, Д. О., & Руденко, Т. В. (2020). Перспективи використання різних видів амарантового борошна у хлібопекарському виробництві. Інноваційні технології у хлібопекарському виробництві. *Здобутки та перспективи розвитку кондитерської галузі: матеріали Міжнародних науково-практичних конференцій*, 17, 24 листопада 2020 р. Київ: НУХТ.
24. Stankevych, G., Valentiuk, N., & Ovsianykova, L. (2021). Changes in quality of amaranth grain in the course of postharvest handling and storage. *Food Science and Technology*, 15(1), 80—90. <https://doi.org/10.15673/fst.v15i1.1959>.
25. Макарова, О. В., Фатєєва, А. С., & Карацуба, Н. Л. (2021). Виробництво нетрадиційних видів макаронних виробів з використанням борошна з голозерного ячменю. *Технології харчових продуктів і комбікормів: матеріали Міжнародної науково-практичних конференції*, 21—24 вересня 2021 р. Одеса: ОНАХТ.
26. Kahlon, T. S., Chiu, C. M. (2014). Ancient whole grain gluten-free flatbreads. *Food and Nutrition Sciences*, 5, 1717—1724. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.517185>.
27. Khairuddin, M. A., Lasekan, O. (2021). Gluten-free cereal products and beverages: a review of their health benefits in the last five years. *Foods*, 10, 2523. <https://doi.org/10.3390/foods10112523>.
28. Коваль, Є., Соломон, А. (2024). Особливості використання ферментів у харчових технологіях для підвищення ефективності виробництва. *Herald Of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 339(4), 477—481. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-339-4-70>.

УДК 347.77

DEFINITION OF THE CONCEPTS OF "INTELLECTUAL PROPERTY" AND "INTELLECTUAL PROPERTY LAW"

V. Prybylskyi, O. Dulka, I. Babych, M. Bondar, P. Boiko, R. Kyrylenko

National University of Food Technologies

Key words:

artificial intelligence,
intellectual property,
object,
non-original object,
subject,
artificial intelligence
system,
special kind of law

Article history:

Received 18.08.2025
Received in revised form
24.08.2025
Accepted 30.08.2025

Corresponding author:

undihp63@ukr.net

ABSTRACT

The article explores the importance of studying issues related to the development of intellectual property in Ukraine. Namely, the information is focused on analyzing key aspects of these terms. Intellectual property is a set of legal and economic mechanisms for protecting objects of intellectual activity, such as copyrights, patents, trademarks, and others. Intellectual property law is a system of regulatory legal acts and legal relations that regulate the use, protection and safeguarding of intellectual property objects. In scientific and higher education institutions, an important function of intellectual property is to create a culture of academic integrity, stimulate interdisciplinary research, and transfer technology to the real sector of the economy. Registration of intellectual property rights contributes to the growth of the academic ranking of institutions, the development of startups, and the expansion of cooperation with industrial partners.

Intellectual property covers a range of objects related to the results of creative activity that do not have a physical form, but have economic and social value. Intellectual property is an important component of the modern information society and serves as the basis for innovation, technological development and business

The paper examines the definition of these concepts, their role in the modern economy and legal system, as well as the features of the application and protection of rights.

The need to apply these concepts to provide educational services to applicants to higher education institutions and for practical application in the preparation of security documents.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-16

ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ» І «ПРАВО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ»

В. Л. Прибильський, д-р. техн. наук, ORCID: 0000-0003-4126-6721

О. С. Дулька, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-9897-5998

І. М. Бабич, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-3058-3062

М. В. Бондар, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-5775-006X

П. М. Бойко, канд. техн. наук, ORCID: 0009-0008-9445-7445

Р. Г. Кириленко, канд. техн. наук, ORCID ID 0000-0003-3263-1950

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено важливість вивчення питань, пов'язаних з розвитком інтелектуальної власності в Україні, проаналізовано ключові аспекти цих термінів. Інтелектуальна власність — це сукупність правових та економічних механізмів захисту об'єктів інтелектуальної діяльності, таких як авторські права, патенти, торговельні марки тощо. Право інтелектуальної власності — це система нормативно-правових актів і правових відносин, що регулюють користування, захист та охорону об'єктів інтелектуальної власності. Наведено визначення цих понять, визначено їх роль у сучасній економіці та правовій системі, а також особливості застосування та захисту прав, доведено необхідність застосування цих понять для надання освітніх послуг здобувачам вищих навчальних закладів і для практичного застосування в оформленні охоронних документів.

Ключові слова: *штучний інтелект, інтелектуальна власність, об'єкт, неоригінальний об'єкт, суб'єкт, система штучного інтелекту, право особливого роду.*

Вступ. Сучасне суспільство активно розвивається і у зв'язку з цим питання інтелектуальної власності та її охорони є пріоритетним. У цьому контексті важливо розуміти не тільки саме поняття інтелектуальної власності, але й правовий аспект, пов'язаний із її захистом. Два основні терміни, що використовуються в цій сфері — це «інтелектуальна власність» та «право інтелектуальної власності». Вони взаємопов'язані, однак мають своє значення та функції.

Метою статті є розгляд різниці між поняттями «інтелектуальна власність» і «право інтелектуальної власності».

Викладення основного матеріалу. *Сутність поняття «інтелектуальна власність».* Інтелектуальна власність — це визначеність інтелекту, що регулює відносини до створених людиною об'єктів, які мають нематеріальну природу і є результатом її творчої діяльності [1]. Такими об'єктами можуть бути літературні та художні твори, винаходи та корисні моделі, торговельні марки, географічні зазначення, програмне забезпечення тощо [1—7]. Значна їх частина є результатом науково-технічної творчості і поширена у сфері промислової власності. Такі об'єкти є не лише формальним втіленням інтелектуальної діяльності, а й важливим інструментом економічного розвитку, зокрема у сфері інноваційного підприємництва, цифрової трансформації та креативних індустрій. Їх правовий захист дає змогу авторам, розробникам і правовласникам контролювати комерційне використання результатів своєї праці, забезпечуючи справедливу винагороду та сприяючи подальшому розвитку.

Нижче наведено характеристики об'єктів інтелектуальної власності, які визначаються складовими їх створення.

Літературні та художні твори (романи, поеми, статті та інші письмові твори; лекції, промови, проповіді та інші усні твори; драматичні, музично-драматичні твори, пантоміми, хореографічні, інші сценічні твори; музичні твори; аудіовізуальні твори; твори живопису, архітектури, скульптури та графіки; фотографічні твори; твори ужиткового мистецтва; ілюстрації, карти, плани, ескізи і пластичні твори, що стосуються географії, топографії, архітектури або науки; переклади, адаптації, аранжування та інші переробки літературних або художніх творів; збірники творів, якщо вони за добром або упорядкуванням їх складових частин є результатом інтелектуальної діяльності; інші твори). До сучасних форм вираження літературних і художніх творів також відносять цифрові твори, інтерактивні медіа, вебсайти та відеоігри, які поєднують елементи програмування, дизайну та наративу, і охоплюються авторським правом за умови дотримання критерію оригінальності.

Наукові відкриття — встановлення невідомих раніше, але об'єктивно існуючих закономірностей, властивостей та явищ матеріального світу, які вносять докорінні зміни у рівень наукового пізнання.

Винаходи, корисні моделі — технічні рішення, що мають новизну, винахідницький рівень (для винаходів) і є придатними для промислового використання.

Промислові зразки — технічні рішення, що є новими і мають індивідуальний характер.

Торговельні марки (знаки для товарів і послуг) — будь-які позначення або комбінація позначень, які придатні для вирізнення товарів (послуг), що виробляються (надаються) однією особою, від товарів (послуг), що виробляються (надаються) іншими особами і можуть бути виражені словами, літерами, цифрами, зображувальними елементами, комбінаціями кольорів.

Знаки для товарів і послуг (торговельні марки) захищають позначення, які використовуються для ідентифікації відповідних товарів або послуг.

Географічні зазначення визначаються характеристиками товарів (послуг) у межах географічного місця походження.

Комп'ютерні програми — це набір інструкцій у вигляді слів, цифр, кодів, схем, символів чи у будь-якому іншому вигляді, виражених у формі, придатній для цифрового зчитування, які приводять його у дію для досягнення певної мети або результату. Охорона програмного забезпечення як об'єкта авторського права поширюється на вихідний і об'єктний код. Особливість правового режиму полягає в тому, що, на відміну від патентування, така охорона виникає з моменту створення програми. Розробники можуть зареєструвати свої права у разі порушення прав, а також при їх передачі або ліцензування.

Компіляції даних (бази даних) — це процес перетворення написаного вихідного коду у код, зрозумілий для цифрового зчитування. Значення баз даних зростає в умовах інформаційної економіки. Хоча окремі дані як такі не підлягають правовій охороні, добір, упорядкування та презентація матеріалів, якщо вони є результатом інтелектуальної праці, можуть бути об'єктами авторського права або права *sui generis* (спеціального права виробника бази даних).

Компонування напівпровідникових виробів визначається його оригінальністю. Компонування інтегральних мікросхем набуває все більшого значення в умовах розвитку високих технологій. Для правової охорони такого компонування необхідно, щоб структура була оригінальною, тобто не створеною прямим копіюванням інших рішень і містить хоча б один елемент, що не був загальнодоступним серед фахівців на момент створення.

Комерційна таємниця — це інформація, яка є секретною в тому розумінні, що вона в цілому чи в певній формі і сукупності її складових є невідомою та не є легкодоступною для осіб, які, зазвичай, мають справу з видом інформації, до якого вона належить, у зв'язку з цим має комерційну цінність і була предметом адекватних існуючим обставинам заходів щодо збереження її секретності, вжитих особою, яка законно контролює цю інформацію.

Рационалізаторські пропозиції повинні містити технологічне (технічне) або організаційне рішення у будь-якій сфері діяльності і має локальну новизну.

Сорти рослин, породи тварин є сукупністю особин одного виду з особливими спадковими ознаками, створеними людиною за допомогою штучного добору. Право інтелектуальної власності на біологічні об'єкти є специфічною сферою, яка потребує дотримання норм як національного, так і міжнародного права. Україна є учасником Міжнародної конвенції з охорони нових сортів рослин (UPOV), що забезпечує правовий захист селекційних досягнень за наявності новизни, однорідності, стабільності та відмінності від вже відомих сортів.

У наукових установах і закладах вищої освіти технічного профілю особливо важливими об'єктами інтелектуальної власності є винаходи, корисні моделі та промислові зразки. Крім того, важливою функцією інтелектуальної власності у вищій освіті є формування культури академічної доброчесності, стимулювання міждисциплінарних досліджень та трансферу технологій до реального сектору економіки. Реєстрація прав на об'єкти інтелектуальної власності сприяє зростанню академічного рейтингу установ, розвитку стартапів і розширенню співпраці з індустріальними партнерами.

Ознаками винаходу є його новизна, винахідницький рівень і промислова придатність. Винахід (корисна модель) визнається новим, якщо про нього не було відомо раніше, зокрема до дати подання заявки до Українського національного офісу інтелектуальної власності та інновацій (УКРНОІВІ) або оголошення про пріоритет. Винахідницький рівень визначається тим, що для фахівця його сутність не тільки не була відомою, але й не є очевидною і явно не впливає з існуючого рівня техніки. Промислова придатність визначається можливістю впровадження у промисловості або інших сферах діяльності, зокрема у майбутньому, оскільки не всі винаходи можуть бути реалізовані в умовах сьогодення.

Особливостями корисної моделі є те, що її об'єктом може бути лише продукт (пристрій, речовина, штам мікроорганізму, культура рослин і тварин, а також нове їх застосування).

Промислові зразки характеризуються результатом творчого художнього конструювання і визначаються будь-якими новими видами форм, конфігурацій, кольором чи сукупністю цих елементів, що створює естетичне враження. В Україні промислові зразки повинні відповідати вимогам новизни та оригінальності. Варто також зазначити, що сучасні підходи до охорони промислових зразків дедалі більше враховують цифрові моделі — 3D-дизайни, інтерфейси користувача, естетику програмних продуктів. Відповідні норми інтегруються у законодавство завдяки імплементації положень Директиви (ЄС) 98/71 та інших актів Європейського Союзу, до правової системи якого поступово адаптується і українська правова база. У практиці функціонування сучасних підприємств промислові зразки відіграють не лише естетичну, а й маркетингову роль — створюючи унікальний візуальний стиль продукції. Візуальне вирішення товару нерідко стає конкурентною перевагою, що безпосередньо впливає на споживчу поведінку і позиціонування бренду на ринку.

Таким чином, інтелектуальна власність охоплює низку об'єктів, що відносяться до результатів творчої діяльності, які не мають фізичної форми, але мають економічну та соціальну цінність. Інтелектуальна власність є важливою складовою сучасного інформаційного суспільства і слугує основою для інновацій, розвитку технологій та бізнесу [8].

Сутність поняття «право інтелектуальної власності». Право інтелектуальної власності є сукупністю норм, що регулюють порядок використання, захисту та припинення прав на об'єкти інтелектуальної власності. Якщо інтелектуальна власність визначає самі об'єкти, то право інтелектуальної власності стосується правової охорони і є інструментом, який дозволяє власнику захищати її у будь-який спосіб, зокрема в судовому порядку та отримувати компенсацію у разі неправомірного використання.

Право інтелектуальної власності передбачає комплекс правових норм, серед яких є: авторське право (літературні та художні твори, комп'ютерні програми, компіляції даних тощо), яке визначає, хто є автором і має право на їх використання та передачу; патентне право, що охороняє власників патентів на винаходи, корисні моделі тощо, встановлюючи, що саме є патентоспроможним і як довести новизну та інноваційність об'єкта; право на торговельні марки регулює питання використання товарних знаків, їхнього захисту від неправомірного використання іншими особами; право на комерційну таємницю передбачає охорону інформації, яка має економічну цінність і недоступна широкому колу осіб; інші права згідно із законодавством України [2—7].

У визначеннях права інтелектуальної власності важливими є юридичні аспекти і процедури реєстрації та захисту.

Юридичний аспект полягає в тому, що інтелектуальна власність як об'єкт права не має визначеного юридичного статусу без застосування правових норм, які регулюють їх використання і захист. Тому без належного правового забезпечення інтелектуальна власність може бути вразливою до порушень і не забезпечує бажаний економічний ефект.

Реєстрація здійснюється після подання заявки до УКРНОІВІ. Права на використання можуть бути застосовані різними способами, зокрема ліцензією або передачею прав. Право власності надає можливість особам контролювати використання створених об'єктів і захищати їх від неправомірного використання.

Захист відповідного об'єкта інтелектуальної власності визначається Конституцією України, Кодексами України (Цивільний кодекс, Кодекс законів про працю, Кодекс про адміністративні правопорушення, Кримінальний кодекс, Цивільно-процесуальний кодекс, Митний кодекс та ін.).

Загальними законами, у яких врегульовано правовідносини стосовно інтелектуальної власності, є Закони України: «Про інноваційну діяльність», «Про інвестиційну діяльність», «Про інформацію», «Про науково-технічну інформацію», «Про наукову і науково-технічну діяльність», «Про науково-технічну експертизу», «Про захист від недобросовісної конкуренції», «Про захист економічної конкуренції».

Спеціальними законами України у сфері захисту права інтелектуальної власності є Закони України: «Про авторське право та суміжні права», «Про охорону прав на винаходи і корисні моделі», «Про охорону прав на промислові зразки», «Про охорону прав на знаки для товарів і послуг», «Про правову охорону географічних зазначень», «Про особливості правової охорони географічних зазначень для сільськогосподарської продукції та харчових продуктів, захист прав та застосування схем якості, включаючи традиційні гарантовані особливості для сільськогосподарської продукції та

харчових продуктів», «Про географічні зазначення спиртних напоїв», «Про охорону прав на компонування напівпровідникових виробів», «Про охорону прав на сорти рослин», «Про племінну справу у тваринництві».

Щоб набути права на об'єкти інтелектуальної власності, заявник повинен пройти певну процедуру, яка завершується реєстрацією і видачею охоронного документа. Для об'єктів промислової власності необхідним є проходження експертизи (формальна, кваліфікаційна), а для авторського права лише доведення факту існування відповідного твору. Патентування об'єктів промислової власності (винаходи, корисні моделі, промислові зразки тощо) передбачає проходження експертизи, де перевіряється відповідність заявленої пропозиції умовам патентоздатності. Для отримання свідоцтва на авторське право заявка повинна обов'язково містити підтвердження фактичного існування твору. Таким чином, процес реєстрації є необхідною складовою перед отриманням охоронного документа.

Висновки. Між поняттями «інтелектуальна власність» та «право інтелектуальної власності» є суттєва різниця, що особливо важливо для закладів вищої освіти та наукових установ технічного профілю. Ця відмінність полягає у визначенні інтелектуальної власності як такої та юридичних аспектах її правової охорони. Різниця між поняттями «інтелектуальна власність» і «право інтелектуальної власності» полягає в їхній сутності. Інтелектуальна власність — це результат творчої діяльності людини, нематеріальний актив, що має економічну та соціальну цінність. Право інтелектуальної власності є сукупністю правових норм, що забезпечують захист відповідних об'єктів, визначають порядок їх використання й охорони. Головним є функціональна приналежність. Інтелектуальна власність — це категорія, що охоплює нематеріальні об'єкти, які є результатами творчої (інтелектуальної) діяльності. Людина створює відповідні об'єкти за допомогою своїх знань, навичок і вмінь без фізичної форми. Натомість право інтелектуальної власності є системою юридичних норм, які встановлюють правила, порядок використання і захисту відповідних об'єктів. Інтелектуальна власність — це те, що ми створюємо, а право інтелектуальної власності — це її охорона.

ЛІТЕРАТУРА

1. Конституція України: Закон України від 28 червня 1996 р. № 254к/96-ВР // Відомості Верховної Ради України. 1996. № 30.
2. Кодекси України: Офіційний збірник / Верховна Рада України. Київ: Юрінком Інтер, 2024.
3. Законодавство України у сфері інтелектуальної власності: збірник нормативно-правових актів / Верховна Рада України. Київ: Юрінком Інтер, 2024.
4. Про авторське право і суміжні права: Закон України від 23.12.1993 № 3792-ХІІ (в редакції від 01.01.2023) // Відомості Верховної Ради України. 1994. № 13. Закон про промислові зразки.
5. Про охорону прав на винаходи і корисні моделі: Закон України від 15.12.1993 № 3687-ХІІ (в редакції від 2024 р.) // Відомості Верховної Ради України. 1994. № 7.
6. Про охорону прав на промислові зразки: Закон України від 15.12.1993 № 3688-ХІІ (в редакції від 2024 р.) // Відомості Верховної Ради України. 1994. № 7.
7. Законодавство України про географічні зазначення та охорону походження товарів: збірник нормативно-правових актів / Верховна Рада України. Київ: Юрінком Інтер, 2024.

УДК 681.5:664.1.054

KINETICS OF INTERSTAGE PROCESSES IN A SUGAR FACTORY VACUUM PAN

Yu. Hudz, N. Lutska

National University of Food Technologies

Key words:

vacuum pan,
sugar crystallization,
stage variability,
automation,
statistical modeling,
machine learning

Article history:

Received 28.06.2025

Received in revised form
02.07.2025

Accepted 04.07.2025

Corresponding author:

lutskanm2017@gmail.com

ABSTRACT

This work analyzes the time characteristics of interstage processes in a sugar factory vacuum pan to identify key sources of instability. The relevance of the work is determined by the need to improve sugar production efficiency in conditions of growing competition and energy challenges, especially after infrastructure losses due to military actions in Ukraine.

A statistical analysis was conducted of the duration of 6 apparatus operation stages: charging, concentration, crystal growth, exhaustion, discharge, and auxiliary operations. A correlation analysis was also performed to identify relationships between stages. The most important results: a strong positive correlation between Stage 3 and Stage 5 (0.75) and between Stage 2 and Stage 6 (0.71), as well as weak negative relationships Stage 1—Stage 3, (0.29).

Three problem groups were identified: cascade delays, where prolongation of Stage 3 increases Stage 5 duration due to massecuite viscosity, and delays in Stage 6 (due to syrup shortage) prolong Stage 2; cycle imbalance, where negative correlations (e.g., Stage 1—Stage 3) indicate conflicts between stages; high variability, specifically in Stage 6 and Stage 4 due to manual operations and changes in syrup parameters.

To stabilize the process, the following is proposed: automate Stage 6 to reduce human factor impact; optimize syrup parameters (concentration, temperature) and control crystal size at Stage 3; develop standardized work schedules and improve intercycle logistics; use the obtained data to develop machine learning models capable of predicting anomalies and optimizing stage duration.

The research results can be integrated into MES/SCADA systems to improve production efficiency, reduce energy costs, and enhance sugar quality. The study emphasizes the importance of digitalization and automation in overcoming challenges related to climate change and infrastructure loss.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-17

КІНЕТИКА МІЖСТАДІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ВАКУУМ-АПАРАТІ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

Ю. А. Гудзь, аспірант, головний інженер ТОВ «САУТКОМ»

Н. М. Луцька, д-р техн. наук, ORCID ID 0000-0001-8593-0431

Національний університет харчових технологій

У статті проведено аналіз часових характеристик міжстадійних процесів у вакуум-апараті цукрового заводу з метою виявлення ключових джерел нестабільності. Актуальність дослідження обумовлена потребою підвищення ефективності виробництва цукру в умовах зростаючої конкуренції та енергетичних викликів, особливо після втрат інфраструктури через військові дії в Україні.

Проведено статистичний аналіз тривалості шести стадій роботи апарата: набору, зсування, росту кристалів, виснаження, вивантаження та допоміжних операцій, а також кореляційний аналіз для виявлення взаємозв'язків між стадіями. Найважливіші результати: сильна позитивна кореляція Stage 3—Stage 5 (0,75) та Stage 2—Stage 6 (0,71), а також слабкі негативні зв'язки Stage 1—Stage 3, (0,29).

Виявлено три групи проблем: каскадні затримки, зокрема подовження Stage 3 збільшує час Stage 5 через в'язкість утфелю, а затримки Stage 6 (через нестачу сиропу) подовжують Stage 2; дисбаланс циклу, тобто негативні кореляції (наприклад, Stage 1—Stage 3) свідчать про конфлікти між стадіями; висока варіативність, а саме Stage 6 та Stage 4 через ручні операції та зміни параметрів сиропу.

Для стабілізації процесу запропоновано: автоматизувати Stage 6 для зменшення впливу людських факторів; оптимізувати параметри сиропу (концентрація, температура) та контролювати розмір кристалів на Stage 3; розробити стандартизовані графіки робіт і покращити логістику міжциклових операцій; використовувати отримані дані для розробки моделей машинного навчання, здатних прогнозувати аномалії та оптимізувати тривалість стадій.

Результати дослідження можуть бути інтегровані в системи типу MES/SCADA для підвищення ефективності виробництва, зниження енерговитрат і покращення якості цукру. Дослідження підкреслює важливість цифровізації та автоматизації для подолання викликів, пов'язаних із кліматичними змінами та втратою інфраструктури.

Ключові слова: вакуум-апарат, кристалізація, цукор, варіативність стадій, автоматизація. статистичне дослідження, машинне навчання.

Вступ. Цукрова галузь є однією з ключових складових агропромислового комплексу України, забезпечуючи внутрішній ринок цукром і сприяючи економічному розвитку країни. У 2024 році в Україні було зібрано приблизно 12,4 млн тонн цукрових буряків, що на 6% менше порівняно з попереднім роком. Це зниження врожайності пов'язане зі спекотним літом, яке негативно вплинуло на формування коренеплодів. Крім того, війна в Україні призвела до втрати посівних площ, виробничої інфраструктури та логістичних мереж, що суттєво вплинуло на цукрову промисловість [1].

Незважаючи на виклики, цукрова галузь України має потенціал для відновлення та розвитку. Завдяки можливості експорту до країн ЄС, посівні площі під цукровими буряками в останні роки зросли на 15—20%. Крім того, деякі підприємства вже впровадили проекти з енергозбереження та модернізації виробництва, що сприяє підвищенню конкурентоспроможності українського цукру на світовому ринку.

Основними викликами для цукрової галузі України є: зниження врожайності, втрата інфраструктури та конкуренція на світовому ринку. Перші пов'язані з кліматичними змінами та несприятливими погодними умовами, що призводять до зменшення врожайності цукрових буряків. Втрата інфраструктури пов'язана з військовими діями, які спричинили руйнування виробничих потужностей і логістичних мереж, що ускладнює процес виробництва та постачання продукції. Для збереження позицій на міжнародному ринку необхідно постійно підвищувати якість продукції та знижувати собівартість виробництва.

У відповідь на виклики ринку, українські цукрові заводи активно впроваджують заходи модернізації. Ці заходи включають оновлення обладнання та впровадження новітніх технологій, що сприяють зниженню собівартості продукції та підвищенню якості цукру.

Автоматизація виробничих процесів у цукровій галузі є ключовим фактором підвищення ефективності виробництва, стабільності якості продукції та зниження витрат. Сучасні тенденції у сфері автоматизації включають використання цифрових рішень, що дозволяють оптимізувати управління технологічними процесами. Одним із важливих напрямків є впровадження сучасних систем управління виробництвом, таких як MES і SCADA. SCADA-системи забезпечують контроль параметрів виробництва в реальному часі, тоді як MES-системи дозволяють глибоко аналізувати виробничі дані, що дає змогу швидко реагувати на зміни умов роботи.

Розвиток Індустрії 4.0 та поширення технологій Інтернету речей (IoT) відкривають нові можливості для моніторингу та контролю обладнання [2]. Завдяки цьому виробничі системи отримують доступ до великого обсягу даних, що дозволяє оперативніше виявляти відхилення у роботі вакуум-апаратів. Іншим перспективним напрямком є створення цифрових двійників [3] — віртуальних моделей вакуум-апаратів, які дозволяють тестувати різні сценарії роботи обладнання, що сприяє зниженню ризиків і підвищенню ефективності виробництва.

Важливу роль у підвищенні ефективності відіграють сучасні автоматизовані системи керування технологічними процесами (АСУТП), які дозволяють оптимально регулювати параметри роботи вакуум-апарата [4, 5]. Це забезпечує стабільну якість продукції та мінімізує енергетичні витрати. Тут останнім часом переважає використання методів машинного навчання, які відкривають значні перспективи для подальшої автоматизації [6, 7]. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть прогнозувати несправності, виявляючи аномалії в роботі обладнання. Це дозволяє уникнути аварійних ситуацій і скоротити витрати на ремонт. Моделі машинного навчання також здатні автоматично підбирати оптимальні параметри роботи вакуум-апарата залежно від якості сировини та умов навколишнього середовища. Окрім цього, самонавчальні алгоритми забезпечують гнучке керування виробничими процесами, що дозволяє адаптуватися до змінних умов роботи.

Впровадження сучасних підходів в автоматизації виробництва супроводжується певними викликами. Одним із головних є потреба у висококваліфікованих фахівцях для налаштування й обслуговування автоматизованих систем. Також складнощі виникають при модернізації старого обладнання, що потребує значних інвестицій. Додатковим викликом є забезпечення кібербезпеки при використанні IoT-рішень, оскільки розширення цифрових платформ створює нові ризики.

Попри ці виклики, автоматизація та впровадження сучасних підходів є ключовими кроками для підвищення конкурентоспроможності українських цукрових заводів

на світовому ринку. Завдяки цим змінам виробники отримують можливість підвищити ефективність роботи обладнання, покращити якість продукції та скоротити виробничі витрати.

Кристалізація цукру є одним із найскладніших і найбільш енергоємних процесів у виробництві цукру. Цей технологічний процес відбувається у вакуум-апаратах періодичної дії, що працюють у складі технологічних комплексів. Організація їхньої роботи спрямована на забезпечення безперервної переробки цукрових сиропів та ефективне використання енергоресурсів, зокрема пари, яка виконує роль основного теплового носія.

Сучасні автоматизовані системи управління технологічним процесом кристалізації цукру мають низку обмежень. Зокрема, існуючі системи управління зосереджені переважно на моніторингу технологічних змінних і роботі виконавчих механізмів, але не забезпечують виявлення та ідентифікації нестандартних ситуацій, що можуть виникати у процесі роботи. Відсутність структурованих багаторівневих систем управління та недостатня інтеграція інтелектуальних методів обробки інформації зменшують ефективність виробничого комплексу.

Автоматизація процесу кристалізації цукру стикається з низкою викликів, серед яких:

- підвищені вимоги до енергоефективності та раціонального використання ресурсів;
- необхідність інтеграції сучасних інформаційних технологій для підвищення рівня автоматизації;
- потреба в розробці і впровадженні адаптивних алгоритмів управління, здатних оперативно реагувати на зміни виробничих умов;
- забезпечення надійного контролю технологічних змінних з можливістю діагностики та прогнозування нестандартних ситуацій.

Перспективним підходом до вирішення цих викликів є застосування методів машинного навчання. Використання таких підходів дозволяє підвищити рівень автоматизації шляхом впровадження інтелектуальних систем з аналізом і прогнозуванням роботи технологічного комплексу. Важливим елементом цих систем є розробка бази знань, що забезпечує ідентифікацію та опрацювання нестандартних ситуацій, підвищуючи ефективність управління.

Таким чином, розвиток сучасних автоматизованих систем управління технологічним процесом кристалізації цукру потребує впровадження нових підходів, які враховують особливості виробництва, забезпечують інтеграцію інтелектуальних методів управління та сприяють підвищенню ефективності роботи цукрових заводів.

Огляд останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі зустрічаються статті, присвячені розвитку та застосуванню передових технологій [8], зокрема методів глибокого навчання та новітніх методів вимірювання, для покращення контролю та моніторингу процесів кристалізації, що мають важливе значення для індустріальних процесів і досліджень у галузі хімічної та харчової інженерії.

Стаття [9] надає огляд застосування методів машинного навчання в дослідженні поведінки кристалів і контролі процесів кристалізації. Автори аналізують досягнення останніх п'яти років у цій галузі, підкреслюючи ефективність машинного навчання як доповнення до традиційних підходів, заснованих на квантовій механіці та класичних силових полях.

Стаття [10] пропонує систему глибокого навчання на основі глибоких згорткових нейронних мереж (DCNN) для класифікації зображень кристалізації тростинного

цукру. Ця система автоматично оцінює ступінь кристалізації, що важливо для контролю якості у виробництві цукру. Методи збору й обробки зображень, а також навчання нейронної мережі забезпечують високу точність класифікації. Результати показують, що запропонована система ефективно моніторить процес кристалізації, покращуючи якість продукції та оптимізуючи виробничі процеси. Дослідження [10, 11] демонструє потенціал глибоких нейронних мереж для автоматизації та покращення контролю якості в харчовій промисловості.

Стаття [12] надає критичний огляд принципів, переваг і недоліків різних існуючих технологій вимірювання кристалів (СМТ), а також їх застосування для вивчення нових форм кристалів, їх характеристик, прогнозування й контролю їх форми та розміру. Обговорюються напрямки майбутніх досліджень, включаючи покращення точності вимірювань, розробку нових технологій для вимірювання складної поведінки кристалів і сприяння впровадженню СМТ у промислову кристалізацію.

У праці [13] досліджується використання глибокого навчання, зокрема нейронної мережі Mask R-CNN, для онлайн-аналізу зображень у процесах неперервної промислової кристалізації. Методика дозволяє ефективно сегментувати й аналізувати зображення кристалів, що робить її корисною для моніторингу та контролю процесів кристалізації в реальному часі.

Стаття [14] описує розробку моделей на основі нейронних мереж для прогнозування концентрації розчиненої речовини в процесі партійної кристалізації. Ці моделі використовуються як внутрішні моделі в нелінійному модельно-прогнозуючому керуванні (NMPC). Розглядаються три архітектури нейронних мереж: багатошаровий перцептрон (MLP), мережа з ехостаном (ESN) та довготривала короткочасна пам'ять (LSTM). Для навчання й тестування моделей використовуються як експериментальні, так і симульовані дані з кристалізації сульфату калію (K_2SO_4). Результати показують, що ESN забезпечує найкращу продуктивність серед розглянутих архітектур. NMPC на основі ESN ефективно підтримує концентрацію розчиненої речовини на бажаному рівні шляхом регулювання температури процесу.

Загалом, використання методів машинного навчання в процесах кристалізації демонструє великий потенціал для покращення ефективності й точності процесів, однак для досягнення повної інтеграції та надійності потрібні подальші дослідження і вдосконалення існуючих методів.

Мета дослідження: проведення комплексного статистичного аналізу часових проміжків стадій роботи вакуум-апарата цукрового заводу для виявлення ключових закономірностей між стадіями, що впливають на стабільність та ефективність його роботи. Аналіз отриманих даних дозволить визначити взаємний вплив тривалості стадій процесу та потенційні зони нестабільності. Результати дослідження стануть основою для подальшої розробки моделей машинного навчання, спрямованих на прогнозування стану ключових показників, оптимізацію технологічних змінних і підвищення загальної продуктивності виробництва.

Матеріали і методи. 1. Принцип роботи вакуум-апарата цукрового заводу. Після підігріву та фільтрації сироп надходить на стадію уварювання, де з нього продовжують випаровувати воду (рис. 1). У результаті розчин досягає стану пересичення, що спричиняє утворення кристалів цукру. Основне завдання цього процесу — виділення цукру в кристалічній формі шляхом випаровування вологи.

Продукт, що утворюється після уварювання, називається утфелем. Він містить приблизно 7,5% води та близько 55% цукрових кристалів. Міжкристальний розчин є густою рідиною, що включає всі нецукристі домішки та насичений розчин цукру в

залишковій кількості води. За своєю консистенцією утфель — це в'язка, густа суміш кристалів і міжкристального розчину. Отримати таку кристалічну масу у випарних апаратах неможливо, оскільки там, навпаки, необхідно підтримувати сироп у рідкому стані без утворення кристалів. Для цього концентрація сухих речовин у ньому не повинна перевищувати 70%, щоб уникнути зацукрювання труб, вентилів та інших елементів обладнання.

Сироп уварюють в спеціальних вакуум-апаратах періодичної дії. Уварювання сиропу необхідно проводити під розрідженням, оскільки концентрація киплячої маси досить висока, що викликає підвищення температури кипіння навіть на 20 °С. Відповідно, якщо уварювати сироп при атмосферному тиску, то температура кипіння буде 120 °С, що викличе карамелізацію цукру. Під розрідженням температура сиропу при уварюванні тримається лише близько 70...75 °С.

2. *Цикл роботи вакуум-апарата.* Вакуум-апарат продуктового цеху працює в циклічному режимі. Для зручності керування цикл варки розділяють на декілька стадій. Як об'єкт періодичної дії, вакуум-апарат має основні та допоміжні стадії. Загальна кількість стадій може варіюватися від чотирьох (де основною є лише одна робоча стадія) до 14, що залежить від особливостей технологічного й апаратурного виконання відділення. Перехід від стадії до стадії відбувається при досягненні певних, заданих наперед, умов, які може змінювати оператор з огляду на параметри роботи заводу.

У межах дослідження цикл роботи вакуум-апарата поділено на шість головних стадій, що обґрунтовується технологічною послідовністю процесу кристалізації та необхідністю детального аналізу часових характеристик кожної операції. Подібна класифікація є інструментальною для системного аналізу продуктивності апарата, оскільки враховує як технологічні особливості кожного етапу, так і їхній внесок у загальну ефективність роботи устаткування.

1. *Набір.* Окреслює початок варіння. Набір виконують до рівня покриття гріючої камери. При наборі апарат знаходиться під розрідженням. Гріюча пара не подається.

2. *Згущення.* На даній стадії підтримуються заданий рівень у вакуум-апараті (рівень покриття гріючої камери), задане розрідження. Гріюча пара відкрита повністю. На цьому етапі потрібно згустити сироп до заданого коефіцієнта пересичення, при якому буде відбуватись введення затравки, за максимально короткий час.

3. *Введення затравки і ріст кристалів.* Одночасно із введенням затравки починає регулюватись розрідження у вакуум-апараті і тиск гріючої пари. Розрідження і тиск зменшуються, щоб уповільнити процес уварювання. Момент введення затравки є найбільш важливим у циклі варки і від його проведення залежить весь результат.

Після того, як кристали утворились і закріпились, відбуваються постійні підкачки сиропом. Із ростом рівня у вакуум-апараті росте і завдання для вмісту сухих речовин в утфелі. Заслінка підкачки регулює саме вміст сухих речовин в утфелі. Розрідження в процесі росту кристалів збільшується, як і тиск в гріючій камері. При досягненні заданого рівня у вакуум-апараті і заданого вмісту сухих речовин відбувається перехід на наступний етап.

4. *Виснаження.* Завдання полягає в тому, щоб максимально випарити зайву рідину й отримати утфель заданої густини. Підтримується задане розрідження у вакуум-апараті. Гріюча пара повністю відкрита. Контролюється навантаження на приводі циркулятора. При досягненні заданого струму відбувається перехід на вивантаження утфелю.

5. Вивантаження. На початку кроку закриваються всі заслінки, скидається розрідження і відкривається заслінка вивантаження. Утфель спускається в приймальну мішалку. Після того, як апарат стає порожнім, відбувається перехід на наступний етап.

6. Допоміжні операції (пропарка, набір вакууму, готовність). Після вивантаження утфелю апарат пропарюється, щоб повністю прибрати залишки утфелю і кристалів з внутрішньої поверхні вакуум-апарата. Після пропарювання в апарат набирається розрідження і готовий до наступного циклу варки апарат очікує на команду оператора.

3. *Основні зовнішні фактори впливу на технологічний процес.* Основними факторами, що впливають на стабільність і якість процесу варки утфелю в вакуум-апараті, є:

- змінна якість сиропу — концентрація сухих речовин у сиропі є одним з ключових параметрів, що визначає ефективність варки утфелю. Якщо вхідний сироп має різну концентрацію сухих речовин, це може призвести до нерівномірного процесу варки. Зниження концентрації сухих речовин у сиропі призводить до більш тривалого часу варки, що збільшує витрати енергії та може знизити ефективність випарювання води. Навпаки, якщо сироп має високу концентрацію сухих речовин, це може ускладнити процес, оскільки при густіших сиропах пересичення в міжкристальному розчині буде вищим, що може викликати утворення додаткових зайвих кристалів, так званої «муки»;

- тиск гріючої пари — від тиску гріючої пари залежить температура кипіння сиропу. Зміна тиску впливає на ефективність випаровування води та стабільність процесу. Високий тиск пари може призвести до надмірного нагрівання сиропу, що призводить до утворення темних відтінків у сиропі, що погіршує якість утфелю. Також при надмірному кипінні пересичення в міжкристальному розчині буде вищим, що може викликати утворення додаткових зайвих кристалів, так званої «муки». Низький тиск пари, у свою чергу, уповільнює процес випаровування, що призводить до збільшення часу варки та зниження продуктивності виробництва.

Результати досліджень. Для дослідження було використано експериментальні дані, зібрані під час проведення циклів варки у виробничому середовищі. Загалом було проаналізовано 19 повних циклів, кожен з яких поділено на шість основних стадій: набір, згущення, введення затравки і ріст кристалів, виснаження, вивантаження, а також допоміжні операції. Кожна стадія характеризується своєю тривалістю, яка фіксувалася вручну.

Дані для кожного циклу були згруповані за стадіями та переведені до уніфікованого табличного формату для подальшого аналізу. Попередній огляд даних дозволив виключити неповні або аномальні записи. Зокрема, всі цикли, у яких відсутня хоча б одна із зазначених стадій, були виключені з вибірки. В результаті було сформовано гомогенну вибірку з 19 спостережень для кожної стадії.

Усі розрахунки та статистичні оцінки проводилися з використанням програмного забезпечення Python (бібліотеки Pandas, NumPy, SciPy), що забезпечує прозорість і відтворюваність аналізу.

На рис. 1 зображено гістограму загальної тривалості циклу вакуум-апарата, а на рис. 2 — гістограму тривалості кожної стадії. Аналіз рис. 1 показує, що загальна тривалість циклу найчастіше знаходиться в діапазоні від 235 до 260 хвилин. Спостерігається асиметричний розподіл, де основна маса значень зосереджена ліворуч, а праворуч розташовані поодинокі триваліші цикли до 350 хвилин. Це свідчить про те, що більшість циклів проходять стабільно, однак іноді виникають затримки.



Рис. 1. Гістограма загального часу циклу процесу

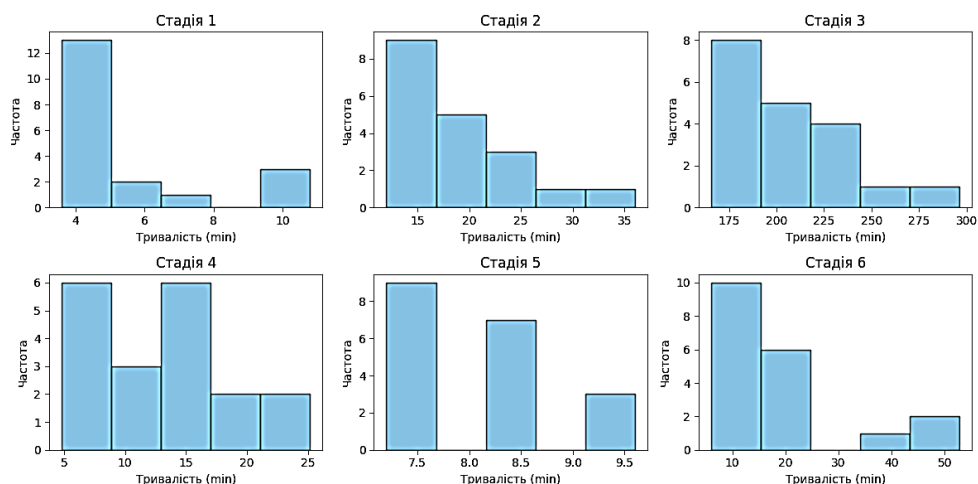


Рис. 2. Гістограма тривалості кожної стадії циклу

На рис. 2 подано розподіл тривалості окремих стадій циклу:

- стадія 1 (stage 1): тривалість в основному коливається в межах 3—5 хв, що свідчить про швидкий перебіг цієї стадії;
- стадія 2 (stage 2): має ширший розподіл із середніми значеннями близько 15—20 хв, але також зустрічаються довші періоди до 35 хв;
- стадія 3 (stage 3): найбільш тривала стадія, основна маса значень розташована в межах 170—220 хв;
- стадія 4 (stage 4): тривалість варіюється від 5 до 25 хв, із двома помітними піками розподілу, що може вказувати на різні режими або умови роботи;
- стадія 5 (stage 5): характеризується дуже вузьким діапазоном тривалості (переважно 8—9 хв), що свідчить про її стабільність;
- стадія 6 (stage 6): тривалість у більшості випадків становить близько 10 хв, однак іноді затягується до 50 хв.

Таким чином, можна зробити висновок, що загальну варіативність тривалості циклу найбільше визначають стадія 3 та частково стадія 2 і стадія 6. Решта стадій є більш стабільними і мають менший вплив на загальний розкид часу.

У табл. 1 наведені основні статистичні дані для кожної стадії окремо. Стадії 1 (набір), 5 (вивантаження) та 6 (допоміжні операції) мають менший вплив на основні показники варіативності в процесі варки цукру. Ці стадії виконують роль допоміжних операцій, таких як заповнення вакуум-апарата сиропом, вивантаження готового продукту та інші процеси, які є важливими для загальної технології, але не є критичними для варіативності основних стадій, тому не розглядатимемо їх у деталях. На рис. 3 також наведена коробчаста діаграма часових проміжків для кожної стадії.

Таблиця 1. Статистика часових проміжків кожної стадії, хв

Stage	mean	std	min	25%	50%	75%	max	IQR	CV, %
1	5,31	2,34	3,6	3,6	4,8	6,0	10,8	2,4	44,1
2	18,19	6,4	12,	13,8	16,8	22,2	36,0	8,4	35,21
3	206,08	33,22	165,6	182,4	196,8	220,2	296,4	37,8	16,12
4	12,76	5,57	4,8	8,4	13,2	15,6	25,2	7,2	43,69
5	8,02	0,9	7,2	7,2	8,4	8,4	9,6	1,2	11,24
6	17,69	13,22	6,0	9,6	13,2	17,4	52,8	7,8	74,74

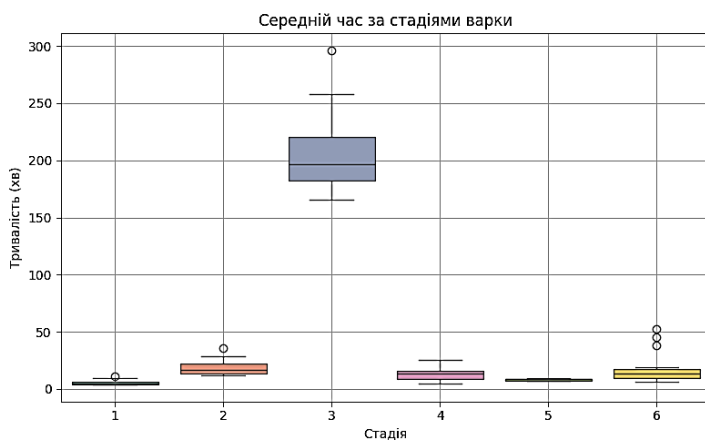


Рис. 3. Бокс-графік тривалості кожної стадії

Стадія 2 (згущення) є одним із ключових етапів процесу варки цукру в вакуум-апараті, на якому відбувається згущення сиропу до необхідної концентрації цукрози. За результатами розрахунку коефіцієнта варіації (CV), що становить 35,21%, можна зробити висновок, що процес цієї стадії має помірну варіативність. Це вказує на те, що коливання в результатах згущення не є надмірними, але все ж потребують уваги. Середнє значення згущеного розчину складає 18,19, з максимальними значеннями до 36,0, що свідчить про важливість точного контролю температури та тиску для підтримання стабільності процесу. Міжквантильний розмах (IQR) на стадії згущення становить 8,4, що вказує на значні коливання між 25-м та 75-м перцентилями, і підтверджує варіативність у межах цих значень. Ці коливання можуть бути зумовлені змінами в характеристиках сиропу або в процесах теплообміну та випаровування води. Однак загальна варіативність не є критично високою, і для оптимізації процесу можна розглянути вдосконалення контролю за температурними та гідродинамічними умовами.

Стадія 3 (введення затравки і росту кристалів) має найменший коефіцієнт варіації серед розглянутих етапів, що становить 16,12%, що свідчить про відносно стабільний

процес кристалізації. Однак міжквантильний розмах на цій стадії досягає значення 37,80, що вказує на велику різницю між значеннями в межах 25-го та 75-го перцентилів. Це може бути пов'язано з різними умовами росту кристалів в окремих ділянках апарата, що може спричинити неоднорідність у кінцевому продукті. Ця стадія є критичною для досягнення високої якості цукру, оскільки саме тут відбувається формування кристалічної структури. Різноманітність умов у вакуум-апараті може спричинити значні відхилення в швидкості росту кристалів, що, у свою чергу, впливає на кінцевий розмір кристалів і чистоту продукту. Зважаючи на це, важливим є постійний контроль над параметрами температури, тиску та введенням затравки.

Стадія 4 (виснаження) є процесом, на якому завершуються основні процеси кристалізації і вилучення цукру з сиропу. Коефіцієнт варіації на цій стадії становить 43,69%, що є високим показником і свідчить про значну варіативність у процесі виснаження. Міжквантильний розмах становить 7,2, що вказує на помітні коливання між 25-м і 75-м перцентиліями, особливо при зниженому або змінному температурному режимі. Висока варіативність може бути обумовлена змінами в умовах вакууму, а також коливаннями в характеристиках сиропу. Це може свідчити про нестабільність у процесі виділення кристалів, що потенційно призводить до зниження якості цукру. Для оптимізації цього етапу необхідно вдосконалювати процеси контролю температури, тиску й вакууму.

Результати аналізу варіативності для стадій згущення, введення затравки та росту кристалів і виснаження показують різний ступінь стабільності цих процесів. Згущення та виснаження мають помітно високий коефіцієнт варіації, що вказує на значні коливання умов на цих стадіях. Найменшу варіативність показала стадія росту кристалів, однак великий міжквантильний розмах на цій стадії вказує на важливість точного контролю умов росту кристалів. Хоча коефіцієнт варіації на стадії 3 помірний (16,12%), міжквантильний розмах (37,8) свідчить про значні коливання в умовах росту кристалів. Це вказує на можливі непостійні умови в апараті, які варто контролювати для покращення стабільності процесу. Для досягнення оптимальних результатів кристалізації необхідний точний контроль введення затравки, температури, вакууму та інших технологічних параметрів. Якщо на цій стадії виникають варіації, це може вплинути на інші стадії (наприклад, на виснаження), що загалом знижує ефективність процесу.

У табл. 2 наведена кореляційна матриця між часовими проміжками стадій. Як ми бачимо, практично відсутні помірні кореляції ($0,4 < |r| < 0,7$). Проте stage 3 і stage 5 мають високу позитивну кореляцію (0,75) — якщо зростає тривалість стадії росту кристалів, то й тривалість вивантаження також має тенденцію збільшуватися. Такий зв'язок може бути викликаний тим, що при тривалішій стадії росту кристалів отримуються крупніші кристали цукру, але не завжди однорідні. Часто утворюються агломерати (сцементовані структури), кількість міжкристалічної маточної рідини зменшується, а структура утфелю стає щільнішою. Більш в'язкий утфель буде довше вивантажуватись. Stage 2 і stage 6 також дуже добре корелюють (0,71), тобто тривалість згущення і допоміжних операцій пов'язані. Якщо збільшується час допоміжних операцій (stage 6), який включає в себе і час паузи між варками, то це свідчить про недостатню кількість сиропу і відсутність можливості розпочати нову варку. Як наслідок, для того, щоб підтримати ритм роботи продуктового відділення (щоб було чим набирати наступний вакуум-апарат), випарна станція починає качати сиропи з меншим значенням сухих речовин. Це призводить до збільшення стадії згущення (stage 2), тому що необхідно випарувати більшу кількість води з сиропу, щоб досягти умов для введення кристалів.

Таблиця 2. Кореляційна матриця між часовими проміжками стадій

	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5	Stage 6
Stage 1	1,00	-0,10	-0,29	0,04	0,02	0,25
Stage 2	-0,10	1,00	0,15	-0,11	0,01	0,71
Stage 3	-0,29	0,15	1,00	0,13	0,75	-0,23
Stage 4	0,04	-0,11	0,13	1,00	0,16	0,10
Stage 5	0,02	0,01	0,75	0,16	1,00	-0,18
Stage 6	0,25	0,71	-0,23	0,10	-0,18	1,00

Для stage 1 і stage 3, навпаки, маємо негативну кореляцію (-0,29). Чим довше набирається вакуум-апарат (stage 1), тим швидше проходить стадія росту кристалів (stage 3). Це може бути спричинене густішим сиропом (з більшим вмістом сухих речовин), який подається на варку. Густиший сироп довше поступає у вакуум-апарат при наборі, тому що має більшу в'язкість. Відповідно, на стадії росту при постійних підкачках густішим сиропом необхідно випаровувати меншу кількість води і приріст рівня та перебіг стадії відбувається швидше.

Stage 3 і stage 6 також мають негативну кореляцію (-0,23). Це свідчить про те, що чим довше триває стадія росту кристалів (stage 3), тим швидше необхідно починати наступну варку для збереження ритму роботи продуктового відділення. Тому тривалість стадії допоміжних операцій (stage 6) свідомо скорочується.

Аналогічний висновок можна зробити і про кореляцію stage 5 і stage 6 (-0,18). Чим довше вивантажується утфель з вакуум-апарата (stage 5), тим коротшою буде тривалість стадії допоміжних операцій (stage 6).

Інші кореляції досить слабкі (близько до нуля або слабкі негативні значення).

Таким чином, можна сформулювати основні джерела нестабільності роботи апарата та потенційні заходи покращення його роботи (табл. 3).

Таблиця 3. Ключові джерела нестабільності роботи вакуум-апарата

Джерело нестабільності	Корельовані стадії	Коефіцієнт кореляції (r)	Причина	Наслідки	Потенційні заходи оптимізації
<i>Висококорельовані стадії з ризиком каскадних затримок</i>					
Затримка росту кристалів	Stage 3 → stage 5	+0,75 (сильна позитивна)	Більша насиченість маточної рідини збільшує в'язкість утфелю, що ускладнює вивантаження	Подовження часу вивантаження, порушення циклічності	Контроль розміру кристалів, оптимізація параметрів кристалізації
Нестабільність подачі сиропу	Stage 2 → stage 6	+0,71 (сильна позитивна)	Недостатня кількість/якість сиропу змушує випарну станцію працювати в неоптимальному режимі	Збільшення часу згущення, енерговитрати	Автоматизація подачі сиропу, моніторинг його якості
<i>Стадії з негативною кореляцією: ризик дисбалансу циклу</i>					
Негативний вплив тривалого набору	Stage 1 → stage 3	-0,29 (слабка негативна)	Густиший сироп уповільнює набір, але прискорює ріст кристалів	Ризик дрібнокристалічного утфелю	Стандартизація якості сиропу на вході

Продовження таблиці 3

Конфлікт росту кристалів та підготовки	Stage 3 → stage 6	-0,23	Довший ріст кристалів вимагає швидшої підготовки до нової варки	Недостатній час на підготовку	Оптимізація тривалості циклу кристалізації
Конфлікт тривалості вивантаження та підготовки	Stage 5 → stage 6	-0,18 (слабка негативна)	Довге вивантаження скорочує час на підготовку до нової варки	Неякісна підготовка апарата, накопичення затримок	Оптимізація логістики утфелю, покращення системи очистки
<i>Внутрішня нестабільність стадії</i>					
Нестабільність проміжних операцій	Stage 4	43,69%	Зміни параметрів (тиск, температура), ручне регулювання	Коливання якості продукту	Автоматизація контролю параметрів, стандартизація процесів
Високий розкид часу на допоміжних операціях	Stage 6	CV=74,74% (дуже висока варіативність)	Ручні операції, паузи між циклами, залежність від інших цехів	Нерівномірне навантаження, ризик простоїв	Механізація stage 6, впровадження чіткого графіку робіт

Отже, для стабілізації роботи вакуум-апарата необхідно оптимізувати параметри сиропу на вході та впровадити жорсткіший контроль розміру кристалів під час стадії росту (stage 3), що дозволить запобігти каскадним затримкам у подальших технологічних процесах. Особливу увагу слід приділити розробці стандартизованих графіків робіт і вдосконаленню логістичних потоків для мінімізації міжциклових простоїв. Як додатковий захід рекомендується розглянути можливість автоматизації допоміжних операцій (stage 6), що дозволить знизити вплив людського фактора та варіативність часу виконання цих операцій.

Висновки. Проведений аналіз часових характеристик міжстадійних процесів вакуум-апарата дозволив виявити критичні стадії, що визначають стабільність і ефективність процесу варки утфелю, а також сформулювати потенційні заходи для покращення.

Проведений кореляційний аналіз часових проміжків підтвердив наявність від помірної до високої кореляції між тривалістю окремих стадій процесу. Зокрема, виявлено сильний прямий зв'язок між стадією росту кристалів та вивантаженням ($r \approx 0,75$), а також між стадією згущення та допоміжними операціями ($r \approx 0,71$). Це свідчить про те, що подовження основних технологічних операцій може безпосередньо впливати на тривалість завершальних процедур варки цукру.

Проведений аналіз виявив ключові джерела нестабільності роботи вакуум-апарата, зокрема тісний взаємозв'язок між тривалістю стадій кристалізації та вивантаження ($r = 0,75$), а також високий рівень варіативності допоміжних операцій ($CV = 74,74\%$). Основні проблеми пов'язані з неоптимальними характеристиками сиропу, недостатньою стандартизацією технологічних параметрів і залежністю від ручного виконання окремих операцій. Для підвищення стабільності процесу рекомендується впровадити систему автоматизованого контролю якості сиропу на вході, оптимізувати параметри кристалізації для отримання більш однорідного утфелю, а також розробити стандартизовані технологічні регламенти з урахуванням виявлених кореляційних залежностей. Особливу увагу слід приділити модернізації стадії допоміжних

операцій, де механізація процесів дозволить істотно знизити вплив людського фактора та міжциклові простої.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості:

- оптимізувати режими роботи вакуум-апарата, приділяючи особливу увагу стабілізації параметрів на критичних стадіях;
- використовувати статистичні показники (середнє, CV, IQR) як контрольні орієнтири при коригуванні технологічних змінних у реальному часі;
- ідентифікувати неефективні або нестабільні режими варки, що дозволяє вчасно втручатися в процес та зменшувати втрати енергії чи якості продукції;
- розробляти адаптивні алгоритми управління на основі виявлених закономірностей і кореляцій між тривалістю стадій;
- закласти підґрунтя для побудови моделей машинного навчання, здатних прогнозувати перебіг процесу та рекомендувати оптимальні налаштування.

Таким чином, результати дослідження можуть бути безпосередньо використані для вдосконалення автоматизованих систем керування, підвищення енергоефективності, стабільності процесу, скорочення тривалості циклів і покращення якості цукру на вітчизняних цукрових заводах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дугієнко, Н., & Руднік, О. (2024). Перспективи підвищення конкурентоспроможності української продукції на світовому ринку (на прикладі цукрової галузі). *Фінансові стратегії інноваційного розвитку економіки*, 3(63), 53—58. <https://doi.org/10.26661/2414-0287-2024-3-63-08>.
2. Dadhaneeya, H., Nema, P. K., & Arora, V. K. (2023). Internet of Things in food processing and its potential in Industry 4.0 era: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 139, 104109. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.07.006>.
3. Zafar, M. H., Langås, E. F., & Sanfilippo, F. (2024). Exploring the synergies between collaborative robotics, digital twins, augmentation, and industry 5.0 for smart manufacturing: A state-of-the-art review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 89, 102769. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102769>.
4. Jagtap, S., Garcia-Garcia, G., & Rahimifard, S. (2021). Optimisation of the resource efficiency of food manufacturing via the Internet of Things. *Computers in Industry*, 127, 103397. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103397>.
5. Hassoun, A., Jagtap, S., Garcia-Garcia, G., Trollman, H., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., ..., & Câmara, J. S. (2023). Food quality 4.0: From traditional approaches to digitalized automated analysis. *Journal of Food Engineering*, 337, 111216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111216>.
6. Lutska, N., Vlasenko, L., Zaiets, N., & Lysenko, V. (2022, November). Modeling the productivity of a sugar factory using machine learning methods. In 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/CSIT56902.2022.10000571>.
7. Vlasenko, L., Zaiets, N., Lutska, N., & Savchuk, O. (2023). Neural Network Model for Predicting the Resource Efficiency of the Defecosaturation Department of a Sugar Factory. In: Vasant, P., Weber, G. W., Marmolejo-Saucedo, J. A., Munapo, E., Thomas, J. J. (eds) *Intelligent Computing & Optimization. ICO 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, 569. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19958-5_12.
8. Xiouras, C., Cameli, F., Quilló, G. L., Kavousanakis, M. E., Vlachos, D. G., & Stefanidis, G. D. (2022). Applications of artificial intelligence and machine learning algorithms to crystallization. *Chemical Reviews*, 122(15), 13006—13042. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00141>.
9. Lu, M., Rao, S., Yue, H., Han, J., & Wang, J. (2024). Recent advances in the application of machine learning to crystal behavior and crystallization process control. *Crystal Growth & Design*, 24(12), 5374—5396. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.cgd.3c01251>.
10. Zhang, J., Meng, Y., Wu, J., Qin, J., Yao, T., & Yu, S. (2020). Monitoring sugar crystallization with deep neural networks. *Journal of Food Engineering*, 280, 109965. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109965>.

11. Zhang, F., Meng, A., Long, Y., Yu, Z. Q., Yu, S., Shan, B., & Xu, Q. (2024). Advances and opportunities concerning nucleation measurement and control technology in crystallization. *Organic Process Research & Development*, 28(8), 3055—3077. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.oprd.4c00182>.
12. Zhang, F., Li, W., Shan, B., Wang, Y., Zhu, Z., Huo, Y., & Xu, Q. (2024). Crystal measurement technologies for crystallization processes: Advances, applications, and challenges. *Measurement*, 114672. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114672>.
13. Zong, S., Zhou, G., Li, M., & Wang, X. (2023). Deep learning-based on-line image analysis for continuous industrial crystallization processes. *Particuology*, 74, 173—183. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2022.07.002>.
14. Lima, F. A. R., de Moraes, M. G., Secchi, A. R., & de Souza Jr, M. B. (2022). Development of a recurrent neural networks-based NMPC for controlling the concentration of a crystallization process. *Digital Chemical Engineering*, 5, 100052. <https://doi.org/10.1016/j.dche.2022.100052>.

УДК 664:681.5:658.5

AUTOMATION OF FOOD PRODUCTION IS AN IMPORTANT DIRECTION OF THE DEVELOPMENT STRATEGY OF FOOD INDUSTRY ENTERPRISES

I. Oshchypok*Ivan Franko National University of Lviv***Key words:**

automation,
production,
food products,
digitalization,
technology

Article history:

Received 26.08.2025

Received in revised form
28.08.2025

Accepted 30.08.2025

Corresponding author:

him1960@ukr.net

ABSTRACT

The article examines the role of automation as an essential foundation for sustainable enterprise growth. It emphasizes that, in modern conditions, automation is a response to multifaceted challenges, offering not only increased operational efficiency but also a platform for continuous innovation. The essence of food production automation is revealed as enhancing operational efficiency, enabling the review and optimization of workflows, and reducing the duration of the technological cycle. This is a key factor that allows for the coordinated acceleration of every phase of production. Key and additional principles of automation are formulated, and the main international and national standards regulating its implementation in the food industry are considered. Their practical application serves as the basis for designing, implementing, and evaluating automated solutions, ensuring consistent product quality and compliance with regulatory requirements. It is highlighted that adaptability and flexibility are defining characteristics of modern automated systems in the food industry. The transformational impact of automation on food production is demonstrated. Special attention is given to the analysis of the Sensio ERP program, designed to provide accurate and timely management decisions. The system supplies management with up-to-date analytical data, which serve as the basis for effective decision-making. Among the main advantages of automation is the ability to continuously monitor all aspects of production in real time. Instant access to data enables deep and uninterrupted process analysis, prompt detection of any deviations, and rapid intervention to resolve issues. This ensures consistent product quality and compliance with the highest standards. It is determined that, among the technologies most appropriate for use in the Ukrainian food industry, the following prevail: digital process control automation (46%), collection, processing, and analysis of production data (big data) — 21%, automated or advanced quality control — 18%.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-18

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ — ВАЖЛИВИЙ НАПРЯМ СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

І. М. Ощипок, д-р техн. наук, ORCID ID:0000-0002-5427-3376

Львівський національний університет ім. Івана Франка

У статті підкреслюється, що в сучасних умовах автоматизація є відповіддю на багатогранні виклики, пропонуючи не лише підвищення операційної ефективності, а й створення платформи для постійних інновацій. Сформульовано ключові та додаткові принципи автоматизації, розглянуто основні міжнародні й національні стандарти, які регулюють її впровадження в харчовій промисловості. Їхнє практичне застосування слугує основою для проєктування, реалізації та оцінювання автоматизованих рішень, забезпечуючи стабільну якість продукції та відповідність вимогам регуляторів. Наголошено, що адаптивність і гнучкість є визначальними характеристиками сучасних автоматизованих систем у харчовій промисловості.

Ключові слова: автоматизація, виробництво, харчова продукція, цифровізація, технологія.

Вступ. Харчова промисловість тривалий час опиралася на традиційні способи виробництва і зараз переживає вирішальний момент у своїй еволюції. Домінуючим фактором є постійно зростаючий глобальний попит на якісну харчову продукцію, де споживачі, дедалі більше обізнані та вимогливі, шукають не лише високоякісну їжу, але й доступні варіанти з якісним виготовленням продуктів. Автоматизація з'являється як відповідь на виклики, пов'язані з постійно зростаючим глобальним попитом. Однак для керівників харчових підприємств з малою потужністю початкові інвестиції в автоматизовані системи можуть здатися суттєвою перешкодою [2, 4].

Зростання конкуренції на ринку харчової продукції вимагає від підприємств унікальності та індивідуального підходу. Інноваційні підходи до впровадження сучасних інформаційних розробок стають критично важливими для ефективного функціонування підприємств індустрії харчування. Нові інформаційні послуги й продукти сприяють оптимізації якості обслуговування та розкриттю потенціалу закладів цієї сфери [1].

Впровадження автоматизованих технологій революціонує харчову промисловість і сприяє втіленню нових рішень у виробництво [1].

Інтеграція новітніх інформаційних технологій у виробничі процеси або управлінські структури сучасних харчових підприємств і ресторанного бізнесу дає змогу значно підвищити їхню ефективність завдяки впровадженню сучасних методів управління, передового досвіду та наукових досягнень. Особливий акцент робиться на інформаційних технологіях, цифровізації виробництва, адже їх використання є базовою умовою роботи, забезпечуючи точність, оперативність і швидкість обробки даних.

Прогресивний розвиток інформаційних технологій стимулював появу інтегрованих комп'ютерних систем управління. Нині широко застосовуються системи, засновані на персональних комп'ютерах із сучасним інтерфейсом, які забезпечують ефективний обмін інформацією між підрозділами підприємства, такі як платформи IoT для збору та обробки даних (Siemens MindSphere, PTC ThingWorx тощо). Іншими словами, пошук оптимізованих рішень є не просто необхідністю, а важливою стратегією,

щоб відповідати та передбачати очікування високодинамічного глобального ринку [4, 5].

Просування ресторанних послуг у соціальних мережах допомагає знаходити нових клієнтів і підтримувати лояльність постійних. Добре оформлений профіль у соц-мережах має приваблювати візуально: якісні фотографії їжі, відео з подій, фото персоналу та гостей. Крім того, соціальні мережі слугують сучасною платформою для реклами та інтеграцій, що дозволяє суттєво зменшити витрати на маркетинг і підвищити економічні результати [3].

Підприємствам індустрії харчування згадані системи необхідні для:

- формування іміджу бренду;
- залучення нових клієнтів;
- підтримання постійного зв'язку з гостями;
- збору відгуків і зворотного зв'язку.

Огляд останніх досліджень і публікацій. У праці [3] аргументовано необхідність переосмислення діючих бізнес-моделей підприємствами ресторанного бізнесу з огляду на можливості digital-маркетингу як дієвого інструменту їх антикризового розвитку. Визначено переваги онлайнмаркетингу, який орієнтований на підвищення рівня обслуговування клієнтів, зміцнення емоційного зв'язку з клієнтом підприємства ресторанного бізнесу з метою використання можливостей диджиталізації у сфері ресторанного бізнесу, визначено ключові трансформації клієнтського досвіду, які констатують факт зрушень у сприйнятті споживачем базових граней як самого підприємства ресторанного бізнесу, так і ресторанного продукту.

У [2] розглянуто основні типи автоматизованих систем управління закладами ресторанного господарства, а також визначено переваги на недоліки використання цих систем. Деталізовано фактори, на які варто звернути увагу при виборі автоматизованих інформаційних систем для закладів, враховуючи їх потужності. Також було детально визначено недоліки, з якими можуть стикнутися заклади ресторанного господарства.

У [7, 8] сформульоване визначення поняття інформаційної інфраструктури як інституціональної основи ефективного обігу інформації між підприємствами сфери обслуговування в процесі задоволення інформаційних потреб, що визначає потенціал генерації нового знання і, як наслідок, обумовлює рівень їх інноваційності. Технологічні досягнення останніх інформаційних революцій, поширення мережевих інформаційних технологій значно збільшили продуктивність і ефективність інформаційної інфраструктури, що стало причиною структурних змін у її інфраструктурі, що в кінцевому підсумку дозволило серйозно знизити транзакційні витрати в господарюванні.

Інноваційна діяльність є важливим інструментом для збереження та посилення конкурентних позицій підприємств сучасного ринку. Нова економіка вимагає впровадження інноваційних технологій у всіх галузях. Проте реалізація інформаційних новацій часто стикається з такими перешкодами, як високий рівень ризику інвестицій, недостатній досвід у впровадженні технологій, низька підтримка держави, обмежені фінансові ресурси підприємців та значна вартість розробок.

Головною сферою, де інформаційні технології сприяють трансформації індустрії харчування і ресторанного бізнесу, є розвиток онлайн-сервісів. Застосування сучасних технологій обробки та передачі даних дозволяє створювати інноваційні харчові продукти і страви, адаптовані до вимог ринку, що сприяє підвищенню конкурентоспроможності та збільшенню прибутковості підприємств [12, 15, 16].

У сучасних умовах цифровізації та глобальної конкуренції важливим завданням є створення нової архітектури для гетерогенного розумного кіберпростору, який забезпечить інтеграцію різних інформаційних, комунікаційних та управлінських систем. Особливу роль у цьому процесі відіграють сучасні інтелектуальні технології в системах управління, що дозволяють підвищувати ефективність бізнес-процесів і створювати умови для сталого розвитку підприємств [2—4, 15]

Значна увага приділяється системам автоматизації устаткування підприємств ресторанного господарства, адже їх модернізація сприяє підвищенню продуктивності, зниженню енергетичних витрат і підвищенню якості кінцевої продукції. Впровадження нових технологій на вітчизняних підприємствах є ключовим фактором підвищення їх конкурентоспроможності, адаптації до вимог ринку та відповідності сучасним світовим стандартам [10, 11].

Аналіз ринкових тенденцій свідчить, що інтелектуальна автоматизація ресторанного бізнесу стає стратегічним напрямом його розвитку. Вона включає застосування систем штучного інтелекту, роботизації, хмарних сервісів та аналітичних платформ, які дозволяють ефективно управляти ресурсами, оптимізувати виробничі процеси та забезпечувати високий рівень клієнтського сервісу [4, 8, 9].

Важливим аспектом є імплементація інформаційно-комунікаційних технологій у систему управління бізнес-процесами вітчизняних підприємств у контексті розвитку цифрової економіки. Це створює передумови для інтеграції традиційних і нових бізнес-моделей, що базуються на принципах гнучкості, відкритості та орієнтації на потреби споживача [5, 10, 11].

Дослідження інноваційних рішень для оновлення існуючих бізнес-моделей у ресторанному бізнесі та сфері виробництва харчових продуктів демонструє необхідність впровадження сучасних сервісних технологій, які сприятимуть не лише підвищенню ефективності виробництва, але й формуванню нової якості обслуговування споживачів [6, 7].

Таким чином, поєднання інтелектуальних систем управління, автоматизації обладнання, інформаційно-комунікаційних технологій та інноваційних підходів у сфері бізнес-моделювання забезпечує формування сучасної концепції розвитку ресторанного господарства і харчової промисловості в умовах цифрової економіки.

Мета дослідження: обґрунтування та аналіз ролі автоматизації у забезпеченні сталого розвитку підприємств виробництва харчових продуктів шляхом впровадження сучасних інформаційних технологій, комп'ютерних систем і цифрових інструментів управління. Дослідження спрямоване на: виявлення ключових принципів, стандартів і практичних підходів до автоматизації виробничих процесів; оцінку впливу автоматизації на підвищення операційної ефективності, гнучкості та адаптивності підприємств; визначення трансформаційного ефекту автоматизованих систем на якість продукції, швидкість технологічних циклів та ефективність управлінських рішень; аналіз сучасних технологій (цифрова автоматизація, інтернет-технології, обробка великих даних, автоматизований контроль якості) з метою оптимізації виробничих процесів та забезпечення відповідності міжнародним і національним стандартам; формування практичних рекомендацій щодо модернізації бізнес-процесів і підвищення конкурентоспроможності підприємств з виробництва харчових продуктів.

Матеріали і методи. Для вирішення поставлених завдань застосовано сукупність загальнонаукових, емпіричних, теоретичних і спеціальних методів дослідження.

Загальнонаукові методи: метод аналізу — для формування наукової проблематики, виявлення ключових аспектів автоматизації виробництва харчових продуктів;

узагальнення сучасних наукових висновків щодо стану та перспектив автоматизації; системний підхід — для комплексного розгляду виробничих процесів та їх автоматизації.

Теоретичні методи: огляд та узагальнення сучасних наукових знань про впровадження автоматизації у харчових виробництвах, а також про вимоги до екологічної безпеки, антропогенні навантаження та рівень забруднення довкілля; аналіз нормативно-правових документів (ISO, HACCP, GMP, ДСТУ), що регламентують процеси автоматизації, стандартизації та контролю якості.

Емпіричні методи: кейс-стаді — вивчення конкретних прикладів впровадження автоматизації на харчових підприємствах; проведення досліджень у реальних виробничих умовах для перевірки запропонованих рішень з автоматизації; аналіз функціонування існуючих систем автоматизації харчових виробництв.

Спеціальні методи: техніко-економічний аналіз для оцінки доцільності впровадження автоматизації та визначення економічного ефекту; моделювання технологічних процесів із застосуванням сучасних програмних засобів.

Результати досліджень. У центрі змін автоматизація виробництва харчових продуктів, процесів виробництва як головних чинників, що сприяють ефективності, стабільності якості та адаптивній гнучкості.

Основні принципи автоматизації виробництва харчових продуктів спрямовані на підвищення ефективності, продуктивності, якості продукції та безпеки процесів. Нижче наведемо ключові принципи автоматизації (рис. 1).



Рис. 1. Ключові принципи автоматизації виробництва харчових продуктів

Додаткові принципи автоматизації виробництві харчових продуктів наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Додаткові принципи автоматизації виробництва харчових продуктів

Назва показника	Характеристика показника
1. Оптимізація ресурсів	Зниження витрат сировини, енергії та води за рахунок точного дозування та оптимізації процесів Автоматизація дозволяє зменшити відходи й оптимізувати використання ресурсів

Продовження таблиці 1

2. Інтеграція технологій	Інтеграція різних етапів виробництва в єдину систему, що забезпечує синхронізацію всіх процесів Використання IoT (Інтернет речей) для обміну даними між машинами та системами
3. Гігієна та безпека	Забезпечення дотримання санітарних норм за рахунок автоматизації процесів миття та дезінфекції (CIP-системи) Мінімізація участі людини у виробничих процесах для зменшення ризику контамінації
4. Точність і повторюваність	Забезпечення високої точності операцій, таких як дозування, фасування та пакування Гарантування однакової якості продукції незалежно від масштабів виробництва
5. Впровадження штучного інтелекту	Використання AI для прогнозування попиту, планування виробництва та аналізу даних Застосування алгоритмів машинного навчання для оптимізації процесів
6. Безперервність виробничих процесів	Підтримка безперервного циклу виробництва для зниження втрат часу на зупинки Впровадження резервних систем, які забезпечують роботу навіть у разі відмови обладнання
7. Зменшення людського фактора	Використання роботизованих систем для виконання монотонних або небезпечних завдань Зниження помилок, пов'язаних з людським фактором, і підвищення продуктивності

Розглянемо, як автоматизація перевизначає робочі ритми, встановлює необхідні стандарти узгодженості та інтегрує передові технології для динамічної адаптації до мінливих виробничих вимог.

Суть автоматизації у виробництві харчових продуктів полягає в оперативній ефективності і можливості перевизначати та оптимізувати робочі процеси. Скорочення тривалості циклу є ключовим моментом, що дозволяє скоординовано прискорювати кожну фазу виробництва.

Автоматизовані системи, які досконало виконують повторювані завдання, забезпечують точність, яка виходить за межі людських можливостей, мінімізуючи помилки та забезпечуючи ефективне використання наявних ресурсів.

При виробництві харчових продуктів стандарти автоматизації встановлюються для забезпечення безпеки, якості продукції, ефективності процесів та відповідності законодавчим нормам. Нижче наведемо основні міжнародні й національні стандарти, які регулюють автоматизацію в харчовій промисловості (табл. 2).

Практичне застосування стандартів показано на рис. 2.

Ці стандарти слугують основою для проектування, впровадження та оцінки автоматизованих рішень у харчовій промисловості, забезпечуючи стабільну якість продукції та відповідність вимогам регуляторів. Це забезпечує виробництво високоякісних харчових продуктів, де досконалість смаку стає постійною, незалежно від мінливості, притаманною ручним процесам.

Таблиця 2. Міжнародні і національні стандарти, які регулюють автоматизацію виробництва харчових продуктів

Стандарт	Характеристика стандарту
1. ISO (Міжнародна організація зі стандартизації)	
ISO 22000:2018	Система менеджменту безпеки харчових продуктів. Охоплює інтеграцію автоматизованих систем для забезпечення контролю на кожному етапі виробництва.

Продовження таблиці 2

ISO 9001:2015	Система управління якістю. Застосовується до процесів автоматизації, щоб забезпечити відповідність продукції високим стандартам якості.
ISO 14159:2002	Вимоги до гігієнічного проектування машин. Визначає стандарти для автоматизованого обладнання, що контактує з харчовими продуктами.
2. HACCP (Аналіз ризиків і критичні контрольні точки)	
Розробка автоматизованих систем контролю для виявлення критичних точок ризику. Інтеграція моніторингових пристроїв та програмного забезпечення для дотримання плану HACCP.	
3. FDA (Адміністрація з контролю за продуктами і ліками, США)	
21 CFR Part 11	Регламентує використання комп'ютерних і автоматизованих систем у харчовій промисловості. Вимоги до електронних записів та електронних підписів.
FSMA (Food Safety Modernization Act)	Сприяє впровадженню автоматизованих рішень для моніторингу безпеки харчових продуктів.
4. GFSI (Global Food Safety Initiative)	
Включає схеми сертифікації, які інтегрують автоматизацію для забезпечення безпеки та якості харчових продуктів: FSSC 22000; BRCGS (British Retail Consortium Global Standards); IFS (International Featured Standards).	
5. OEE (Overall Equipment Effectiveness)	
Стандарт для оцінки ефективності автоматизованого обладнання: вимірює продуктивність, якість і доступність обладнання; використовується для моніторингу й оптимізації виробничих процесів.	
6. Європейські стандарти (EN)	
EN 1672-2:2005	Гігієнічні вимоги до проектування обладнання для харчової промисловості. Застосовується для автоматизованих машин і ліній.
EN ISO 13849	Стандарти безпеки для автоматизованих систем. Визначає вимоги до електричних та електронних частин систем управління.
7. CIP (Cleaning in Place)	
Стандарти автоматизованих систем для миття обладнання без його розбирання. Відповідність гігієнічним нормам, наприклад, ISO 22000 або HACCP.	
8. IoT і цифровізація	
OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture)	Протокол обміну даними для автоматизованих систем. Забезпечує інтеграцію IoT-рішень і промислових контролерів.
ISA-95	Стандарт інтеграції між системами управління виробництвом (MES) і бізнес-системами (ERP). Використовується для автоматизації процесів управління виробництвом у харчовій галузі.
9. Вимоги до екології та сталого розвитку	
ISO 14001:2015	Система екологічного менеджменту. Використовується для автоматизації процесів, що знижують екологічний вплив.

Продовження таблиці 2

ISO 50001:2018	Система енергетичного менеджменту. Передбачає автоматизацію для зниження споживання енергії.
10. Інші національні стандарти	
ДСТУ (Державні стандарти України): наприклад, ДСТУ ISO 22000 для харчової безпеки, ДСТУ 9001 для систем управління якістю.	

Інтеграція IoT і датчиків для моніторингу ключових показників якості (температура, вологість, тиск)
• Автоматизоване тестування якості продукції на основі ISO 9001 та HACCP
Розробка роботизованих ліній пакування, які відповідають EN 1672-2
• Використання систем штучного інтелекту для дотримання принципів GFSI

Рис. 2. Застосування стандартів у практичній площині

Адаптивність і гнучкість є ключовою характеристикою автоматизованих систем у харчовій промисловості. Оснащені такими передовими технологіями, як штучний інтелект і машинне навчання, ці системи динамічно коригують свою роботу відповідно до змін виробничих вимог. Ця проактивна здатність не тільки оптимізує операційну ефективність, але й забезпечує гнучке та прогнозоване реагування на ринкові тенденції, що розвиваються, роблячи менеджерів на крок попереду в прийнятті стратегічних рішень.

Трансформаційний вплив автоматизації на виробництво харчових продуктів, покращує управління виробництва харчових продуктів, поглиблюючи практичну сферу застосування автоматизованих систем управління. Ключовою частиною є технологічна інновація, яка не тільки сприяє ефективності роботи, але й забезпечує непорівнянну стабільність якості та гнучкості.

На шляху до автоматизації системна інтеграція відіграє центральну роль. Високочотні датчики, чутливі приводи та передові системи керування взаємодіють разом, створюючи цілеспрямоване та високоефективне виробниче середовище. Варто зазначити, що така інтеграція забезпечує ідеальний зв'язок між різними частинами системи, забезпечуючи точне виконання завдань усієї виробничої лінії. Практичним прикладом може бути включення систем автоматичного дозування в лінії виробництва оброблених харчових продуктів, де точність змішування інгредієнтів має вирішальне значення для підтримки консистентності кінцевого продукту.

Зміст автоматизації полягає в постійному моніторингу в режимі реального часу всіх аспектів виробництва. Миттєві дані забезпечують глибоке та безперервне уявлення про процес, дозволяючи негайно виявити будь-які порушення. Це пильне око не тільки забезпечує постійну якість продукції, але й дозволяє негайно втручатися для вирішення проблем, гарантуючи, що кожен вироблений продукт відповідає найвищим стандартам. Наприклад, на лінії виробництва молока датчики постійно контролюють температуру й тиск, тоді як автоматизовані системи регулюють параметри для забезпечення незмінної якості продукції. Якщо щось виходить з ритму, можна відразу втручатися, підтримуючи виробництво в злагодженості.

На практиці автоматизація зменшує відходи кількома способами. Розглянемо лінію виробництва упакованих харчових продуктів, де автоматизовані системи точно керують запасами, запобігаючи перевитратам і гарантуючи суворе дотримання термінів придатності.

Такий точний контроль не тільки мінімізує фінансові втрати, але й сприяє екологічній стійкості, зменшуючи кількість викинутих продуктів через вичерпаний термін придатності.

Розглянемо випадки з практики відчутного впливу цих технологій. Деякі невеликі зарубіжні харчові компанії вирішують інтегрувати системи автоматизації у свою виробничу діяльність, що дає позитивні результати. Приймавши програму Sensio ERP, яка передусім необхідна для прийняття зваженого й ефективного управлінського рішення, співробітники вносять інформацію про продажі, приходи, витрати в систему, програма генерує результат, а керівник на підставі цієї інформації приймає управлінські рішення. Так переосмислюються процеси виробництва, відбувається оптимізація час і мінімізуються помилки. Оперативне та стратегічне управління стає ефективнішим, уніфікувавши ключову інформацію в одному місці.

Оптимізація процесів: централізувавши всі процеси в одному місці, досягається операційна ефективність. Оптимізований час і мінімізація помилок супроводжуються на всіх етапах, від структурування продукту до фінансового менеджменту.

Ефективна комунікація: інтеграція фінансів, виробництва та продажів значно покращила прийняття рішень. Тепер підприємство має цілісне уявлення про свою діяльність, що забезпечує більш стратегічний та інформативний підхід.

Відстеження та фінансова звітність: за допомогою Sensio ERP покращили відстеження інформації. Фінансова звітність стала цінним інструментом для прийняття обґрунтованих рішень. Щоб зберегти конкурентоспроможне підприємство, важливо враховувати, наскільки ці рішення є не тільки специфічними, але й мають потенціал революціонізувати процеси в різних секторах. Sensio ERP можна адаптувати до конкретних потреб визначеного виробництва. Майбутнє виробництва харчових продуктів визначається інноваціями, і підприємство може бути в авангарді цих змін.

Автоматизація в промисловості більше не є альтернативою. Зараз цифровізація процесів управління промисловістю є частиною цілей тих, хто хоче зберегти конкурентоспроможність на ринку та підвищити якість продукції.

Кілька технологічних ресурсів змінюють промислову динаміку на краще. Технології для харчової промисловості стають все більш інноваційними як у виробничих процедурах, так і в управлінні діяльністю.

«Industry 4.0» — це назва переходу, який забезпечив цифровізацію промислових операцій. Багато хто вважає це новою промисловою революцією, враховуючи повну зміну фабричних процедур.

У центрі уваги Industry 4.0 оптимізація ресурсів і підвищення якості виробництва за рахунок використання технологій, причому можемо стверджувати, що цей рух привніс нові тенденції в харчову промисловість.

Опитування, проведене Deloitte за участю керівників галузі в Сполучених Штатах, згрупувало тенденції автоматизації в галузі за п'ятьма напрямками:

- Інтернет речей (IoT), або Інтернет речей (IIoT) і робототехніка для підтримки виробництва;
- кібербезпека;
- ресурси для підвищення стійкості та критеріїв ESG (екологічні, соціальні та урядові);

- управління якістю та операційною ефективністю;
- навчання співробітників і керівників.

Серед технологій, які найчастіше можуть використовуватися українською промисловістю, можуть бути:

- цифрова автоматизація управління процесами (46%);
- збір, обробка та аналіз даних (big data) з виробничого процесу (21%);
- автоматизований або розширений контроль якості (18%).

Малі, середні та великі підприємства можуть отримати користь від різних рівнів технологій.

За допомогою автономних пристроїв, підключених через Інтернет, є датчики, запрограмовані на IoT, щоб сигналізувати про такі аспекти якості виробництва, як вологість і температура харчових продуктів уздовж виробничої лінії. Це значно зменшує кількість невідповідностей.

Ще один спосіб застосувати Інтернет речей в харчовій промисловості, полягає в тому, щоб об'єднати обладнання з такими можливостями для моніторингу машин. Це ресурс, який краще контролює ефективність обладнання та сигналізує про можливі випадки (як у випадку технічного обслуговування). Іншими словами, використання IoT може забезпечити певні переваги (рис. 3).

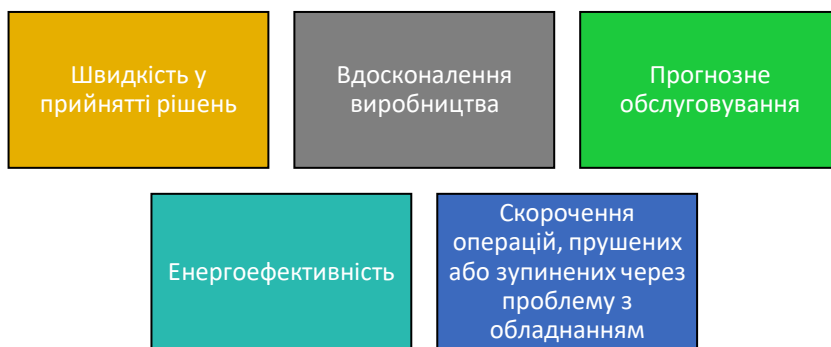


Рис. 3. Переваги використання IoT

Іншим цікавим моментом є промисловий Інтернет речей (IIoT), який охоплює технологічні засоби для отримання інформації з виробничого ланцюжка.

Таким чином, можна збирати дані про час, кількість, вхідні дані та специфіку, спільні з іншими машинами та доступні для різних галузей промисловості чи компаній в агропродовольчому ланцюгу. Представницький прибуток для стратегічного планування.

Оцифровування. Цифровізація процесів контролю в харчовій промисловості має великий потенціал для зниження ризиків для здоров'я та підвищення безпеки харчових продуктів на виробництві.

Управління даними з точними записами та аналізом першопричин невідповідностей посилює рутинний контроль. Перегляд індикаторів стає набагато простішим, доступним через систему на пристрої в будь-який час.

Ведення інформації в автоматизований спосіб сприяє введенню інформації (рис. 4).

CLICQ (Customer Loyalty Innovation Customer Quality) — приклад інструменту, еталон серед компаній агропродовольчого ланцюга, який надає все це менеджерам і командам.

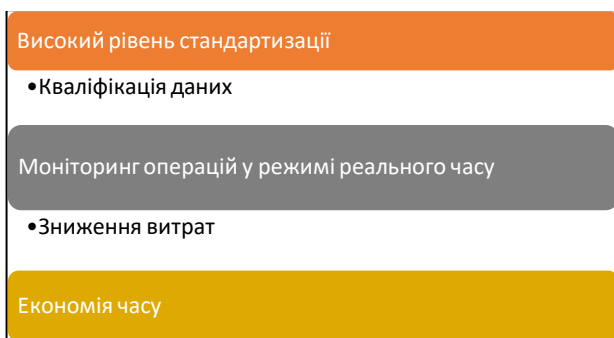


Рис. 4. Переваги ведення інформації автоматизованим способом

Інтелектуальні системи, які забезпечують більш гнучкі процеси відкликання не-якісної продукції, мають велике значення в повсякденному житті виробництва харчових продуктів.

Це може вплинути на всі ланки ланцюга - від виробників до роздрібних продавців і громадського харчування, замінивши моделі, які все ще застосовують на контролі електронні таблиці і застарілі ручні процеси. Існують рішення для вдосконалення цієї практики, починаючи від датчиків для виявлення забруднень і закінчуючи спеціалізованим програмним забезпеченням для відстеження харчових продуктів, яке прискорює випадки відкликання.

Змінюється поведінка споживачів. Багато споживачів обирають продукти з можливістю відстеження походження та прозорою інформацією. Якщо йдеться про їжу, то 33% представників бєбі-буму, 44% представників найвидатнішого покоління та 33% представників покоління Z віддають перевагу та готові платити більше за їжу, вироблену етично та екологічно. Щоб надати ці характеристики кінцевому споживачеві або будь-якій ланці агропродовольчого ланцюга, відстежуваність є незамінним ресурсом. Це ще один приклад автоматизації в харчовій промисловості, який сприяє дотриманню принципів ESG і може покращити результати, підвищивши якість і довіру до продуктів.

Після наведених вище прикладів стає зрозуміло, наскільки далеко зайшли ці технології для вдосконалення практики виробництва харчових продуктів. За оцінками McKinsey, подібні рішення не тільки покращують якість виробництва, але й приносять користь робочим колективам і фінансам галузей.

Висновок. Автоматизація є ключовим фактором сталого розвитку підприємств виробництва харчових продуктів, забезпечуючи ефективність, якість продукції та інноваційність виробничих процесів. Завдяки впровадженню сучасних технологій, таких як цифрова автоматизація управління, аналіз значних даних та автоматизований контроль якості, підприємства отримують можливість скорочувати тривалість технологічного циклу, оптимізувати робочі процеси та підвищувати конкурентоспроможність. Автоматизовані системи забезпечують адаптивність і гнучкість, дозволяють проводити постійний моніторинг у реальному часі, негайно виявляти та усувати проблеми, що гарантує відповідність найвищим стандартам. Впровадження автоматизації не лише сприяє сталому розвитку підприємств, але й слугує платформою для постійних інновацій, адаптуючи виробництво до сучасних викликів та вимог ринку.

Загалом, впроваджуючи автоматизацію, можливо:

- скоротити час простою машини до 50%;
- підвищити продуктивність команди до 30%;

- підвищити передбачуваність операційних потреб на 85%.

Для автоматизації процесів виробництва харчових продуктів можна виділити кілька перспективних напрямів досліджень, які поєднують технологічний розвиток з вимогами сталого виробництва та глобальної конкуренції:

- інтеграція штучного інтелекту та машинного навчання: розробка адаптивних систем управління, які самостійно оптимізують технологічні параметри в реальному часі; прогнозування попиту, оптимізація графіків виробництва та планування постачання;

- Інтернет речей (IoT) у виробничих процесах: впровадження сенсорних мереж для відстеження температури, вологості, мікробіологічних показників та енергоспоживання; створення «розумних» ліній, які автоматично реагують на відхилення;

- цифрові двійники (Digital Twin): моделювання виробничих процесів для прогнозування наслідків зміни параметрів без ризику для реального виробництва; віртуальне тестування нових продуктів і технологій перед їх запуском;

- розширений контроль якості: використання комп'ютерного зору та спектроскопії для миттєвої оцінки якості сировини та готової продукції; автоматизоване виявлення дефектів і контамінацій;

- Big Data та аналітика в реальному часі: збирання й аналіз великих масивів даних для виявлення прихованих закономірностей і вузьких місць у виробництві; підвищення точності прогнозів технічного обслуговування обладнання (predictive maintenance);

- сталий розвиток та енергоефективність: автоматизація систем енергоменеджменту для зменшення споживання ресурсів; мінімізація харчових відходів за рахунок точного планування та переробки побічної сировини;

- кібербезпека автоматизованих систем: захист виробничих мереж і даних від несанкціонованого доступу та кіберзагроз.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кіпгела, Л. В., Загорулько, О. Є., Загорулько, А. М. (2017). *Автоматизація харчових виробництв малого та середнього бізнесу*. Харків: Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі.
2. Андрощук, О. В., Черевко, Р. М., Петрушен, М. В., Голобородько, М. Ю. (2023). Актуальні підходи до побудови інформаційної інфраструктури на основі хмарних технологій з використанням референсної архітектури. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*, 1(46), 89—94. <http://sit.nuou.org.ua/article/view/280723>.
3. Бойко, В. О., Лізон, Д. Г. (2021). Використання інформаційних технологій при наданні послуг у ресторанному бізнесі. *Філософські обрії сьогодення: міжнародна науково-практична конференція (18 листопада 2021 р.) / за ред. І. Варнавської*. Херсон: ХДАЕУ.
4. Гросул, В., Балацька, Н. (2020). Digital-маркетинг як дієвий інструмент антикризового розвитку підприємства ресторанного бізнесу в період пандемії та її рецесії. *Підприємство та інновації*, 11(2), 7—12. <https://doi.org/10.37320/2415-3583/11.20.1>.
5. Завадінська, О., Ніколайко, Г., Огороднік, М. (2022). Дослідження інноваційних рішень для оновлення існуючих бізнес-моделей і сучасних сервісних технологій у ресторанному бізнесі. *Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації*, 5(2), 229—238. <http://restauranthotel.knukim.edu.ua/article/view/270098/26569>.
6. Обіход, С. В. (2021). Імплементація інформаційно-комунікаційних технологій у систему управління бізнес-процесами вітчизняних підприємств у контексті розвитку цифрової економіки. *Економіка, управління та адміністрування*, 4(98), 10—17. [https://doi.org/10.26642/jen-2021-4\(98\)-10-17](https://doi.org/10.26642/jen-2021-4(98)-10-17).
7. Островська, Г. Й., Шерстюк, Р. П., Летун, О. О. (2023). Аналіз ринкових тенденцій інтелектуальної автоматизації ресторанного бізнесу. *Центральноукраїнський науковий вісник. Економічні науки*, 10(43), 143—155. [https://doi.org/10.32515/2663-1636.2023.10\(43\).143-155](https://doi.org/10.32515/2663-1636.2023.10(43).143-155).

8. Ощипок, І. М., Лоїк, Г. Б. (2019). Інформаційна інфраструктура регіону як засіб забезпечення розвитку підприємств сфери обслуговування. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету*, 58, 69—75. <https://doi.org/10.36477/2522-1205-2019-58-10>.
9. Ощипок, І. М. (2020). Специфіка функціонування підприємств готельно-ресторанного бізнесу в умовах d-господарювання *Вісник Львівського торговельно-економічного університету*, 59, 83—89. <https://doi.org/10.36477/2522-1205-2020-59-11>.
10. Шацька, З. Я., Семко, В. В. (2017). Впровадження нових технологій на вітчизняних підприємствах: міжнародна науково-практична конференція «Сучасні детермінанти розвитку бізнес-процесів в Україні». Київ: КНУТД.
11. Язіна, В., Вишнікіна, О., Погребняк, А. (2021). Сучасні системи автоматизації устаткування підприємств ресторанного господарства. *Економіка та суспільство*, 33. <https://economyand.society.in.ua/index.php/journal/article/view/930/892>.
12. Татарінов, В. В. (2022). Сучасні інтелектуальні технології в системах управління. *Інтелектуальні системи автоматизації*: монографія. Кременчук. <https://openarchive.nure.ua/items/080f1fb5-8c0a-4e4c-be57-654e1f3c321a>.
13. Adams, M., Hense, A., Hofstede, A. (2021). Extensible ontology-based views for business process models. *Knowledge and Information Systems*, 10, 2763—2789. <https://doi.org/10.1007/s10115-021-01604-1>.
14. Fonseca, L. M. (2015). Relationship between ISO 9001 certification maturity and EFQM Business Excellence Model results. *Quality, Innovation and Prosperity*, 19(1), 85—102.
15. Thakur, P., Sehgal, V. K. (2021). Emerging Architecture for Heterogeneous Smart Cyber-Physical Systems for Industry 5.0. *Computers Industrial Engineering*, 11, 201—224. 10.1016/j.cie.2021. 107750.

УДК 621.3

ENERGY EFFICIENCY STRATEGIES IN FOOD PRODUCTION

V. Shpak, V. Romaniuk, P. Zinkevych
National University of Food Technologies

Key words:

high voltage,
electrical networks,
energy efficiency,
alternative energy sources,
food production

Article history:

Received 09.08.2025
Received in revised form
16.08.2025
Accepted 19.08.2025

Corresponding author:

vladshpak95@gmail.com

ABSTRACT

According to the results of the analysis of scientific literature on the functioning of production in various industries, including the food industry, from the point of view of the use and production of electricity, the need and importance of applying energy efficiency strategies was found in order to improve, in particular, the environmental situation in the world. Given the unfavorable situation in the energy sector and the global trend to reduce electricity consumption, it is important to develop strategies for its effective use and reduce production costs. Energy efficiency management of power sources involved the implementation of various strategies and technologies to optimize the consumption and use of electricity. Substation buildings as part of the energy infrastructure contain large-sized equipment prone to overheating, which requires significant energy for cooling. The main approach to achieving energy-efficient substation designs is the implementation of effective air conditioning systems, the use of natural ventilation and the replacement of electric heaters with recovered heat from space heating. In recent years, the application of both thermal and non-thermal new technologies based on electrical energy demonstrated a key role in solving the problems faced by the food system, contributing to the achievement of sustainable development goals. In food enterprises, moderate electric field technology is used to induce heating and enhance mass transfer in food processing operations. This technology has proven thermal efficiency and energy saving. The presented technological solutions will reduce energy costs, improve environmental performance, increase competitiveness and ensure sustainable development of the enterprise.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-19

СТРАТЕГІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВАХ

В. В. Шпак, д-р філософії, ORCID ID 0000-0002-5312-9591

В. Т. Романюк, д-р філософії, ORCID ID 0000-0002-0172-1833

П. О. Зінькевич, д-р філософії, ORCID ID 0000-0003-1723-8544

Національний університет харчових технологій

Аналіз наукової літератури щодо функціонування виробництв у різних галузях, в тому числі в харчовій промисловості, з точки зору використання та виробництва електроенергії, показав необхідність і важливість застосування стратегій енергоефективності з метою покращення економічної, зокрема екологічної та безпекової ситуації у світі. З огляду на несприятливу ситуацію в енергетичній сфері та світову тенденцію до зниження споживання електроенергії, важливо розробляти стратегії для ефективного її використання та зниження витрат на виробництво.

Ключові слова: висока напруга, електричні мережі, енергоефективність, альтернативні джерела енергії, виробництво харчових продуктів

Вступ. У світі функціонує велика кількість підприємств, зокрема харчових. Кожне з них потребує використання електроенергії для забезпечення його належного функціонування та безперебійної роботи промислових установок. Для забезпечення ефективної передачі електроенергії на великі відстані, стабільності електричного обладнання і зменшення несправностей, пов'язаних з енергетикою, у виробництві важливим компонентом є системи моніторингу та діагностики, включаючи захист та стабільність електричної мережі. З огляду на несприятливу ситуацію в енергетичній сфері та тенденцію до зниження споживання електроенергії, важливо розробляти стратегії для ефективного використання електроенергії, зниження витрат на виробництво. В цьому аспекті необхідним є розуміння та застосування стратегій енергоефективності, які спрямовані на оптимізацію споживання, мінімізацію втрат електричної енергії і, як наслідок, зниження витрат та підвищення енергетичної безпеки на виробництві.

Огляд останніх досліджень і публікацій. На будь-якому промисловому об'єкті, де використовується електричне обладнання, наявне електромагнітне середовище, що є результатом взаємодії природних електричних та магнітних полів і тих, що виникають внаслідок експлуатації об'єкта. У зв'язку з цим на електростанціях, підстанціях та/або лініях електропередачі можуть виникати високі значення напруженості електричних або магнітних полів, які можуть досягати 25 кВ/мм та 10^3 А/м, відповідно. Перешкоди також вносяться електрообладнанням і такими різними факторами, як опір переходу контактів, перевірка часу перемикавання, дрейф параметрів компонентів або термоелектричні ефекти на контактах між різними матеріалами [1].

В останні роки застосування як теплових, так і нетермічних нових технологій, що базуються на електричній енергії, продемонструвало ключову роль у вирішенні проблем, з якими стикається продовольча система, сприяючи досягненню цілей сталого розвитку [2]. Технологія помірного електричного поля застосовується на харчових підприємствах і передбачає застосування електричних полів менше 1000 В см^{-1} , з впливом тепла або без нього, для індукції нагрівання та посилення масообміну в операціях з переробки харчових продуктів. Можливості швидкого нагрівання та вища енергоефективність роблять цю технологію альтернативою традиційним методам обробки в харчовій промисловості. Розроблення стратегій зосере-

джується на оптимізації конструкції обладнання та параметрів процесу, а також інтеграції цифрових інструментів для розширення їх застосування в широкому спектрі харчових процесів. Термічна ефективність та енергозбереження під час обробки з використанням технології помірною електричного поля в різних операціях з переробки харчових продуктів значною мірою залежать від типу та розташування електродів, робочої частоти та складу харчової матриці. Інтеграція цифрових інструментів і моделей відіграє також значну роль в управлінні процесами та їхній оптимізації для підвищення продуктивності, зниження споживання енергії та забезпечення покращеної якості та безпечності харчової продукції. Це робить технологію помірною електричного поля економічно вигідною та стійкою, що також покращує масштабованість та інтеграцію в існуючі технологічні лінії [3].

Управління енергоефективністю джерел живлення передбачає впровадження різних стратегій і технологій для оптимізації споживання та використання електроенергії. Це досягається за рахунок вибору джерел живлення, трансформаторів та іншого електрообладнання з високими показниками ефективності; покращення коефіцієнта потужності для мінімізації реактивної потужності та зменшення втрат в електричних системах за рахунок використання конденсаторів, активних схем корекції коефіцієнта потужності, що забезпечить оптимізацію непередбачуваних змін в електричних мережах; впровадження систем моніторингу й управління навантаженням для забезпечення оптимізації споживання енергії шляхом визначення періодів пікового споживання та вживання заходів для зменшення попиту в ці періоди [4]; використання програм для управління енергоспоживанням [5]; комунікація з працівниками щодо енергосвідомої поведінки, зокрема вимкнення світла та обладнання, коли воно не використовується; своєчасне обслуговування та ремонт електрообладнання [6].

Значна увага у світі приділяється сталому розвитку, і в Україні прийнято закон «Про Стратегію сталого розвитку України до 2030 року». Енергетика та сталий розвиток тісно пов'язані, і перехід до стійких енергетичних систем має вирішальне значення для досягнення екологічного майбутнього.

Мета дослідження полягала в аналізі сучасної літератури щодо розроблення та застосування стратегій як комплексного підходу, що передбачає впровадження енергетичного аудиту, технологічної модернізації й оптимізації процесів з енергоефективності для забезпечення фінансової вигоди та конкурентоспроможності функціонування промислового виробництва різних галузей.

Викладення основних результатів дослідження. Для управління та забезпечення високої енергоефективності систем електропостачання при високих нелінійних навантаженнях запропоновано підтримувати оптимальне значення показників надійності електропостачання на прикладі вугільних шахт. Досліджено вплив параметрів режиму мережі та показників миттєвого спотворення форм сигналів струму та напруги, спричинених роботою перетворювачів, на резонансні явища в системах електропостачання. Доведено, що використання даних вимірювань щодо обсягу й характеру миттєвих спотворень форми сигналу струму та напруги в умовах технологічного процесу промислових підприємств дозволяє підвищити якість розрахунків електромагнітних і технологічних втрат. Важливо зменшити гармонійний фон, який на 80% впливає на забезпечення раціональної роботи. Крім того, експлуатаційна надійність компонентів енергосистеми погіршується приблизно на 20—30% під час роботи керованих вентильних перетворювачів підйомних машин і вентиляторів [7].

Економічна робота двигунів на електростанціях визначає коефіцієнт споживання енергії та вартість виробництва цієї електроенергії, тому багато електростанцій використовують технологію змінної частоти з високими характеристиками, щоб під час роботи вентиляторів і насосів забезпечити енергозберігаючий ефект, що надасть можливість заощадити електричну енергію. Для енергозберігаючої модернізації двигунів вентиляторів і насосів запропоновано пункт та метод оцінки енергозбереження двигунів відповідно до широкого застосування високовольних і надпотужних двигунів вентиляторів та насосів з технологією перетворення частоти високої напруги відповідно до аналізу умов експлуатації, характеристик, ефективності роботи й застосування аналогічних законів механіки. Це означає, що вони перетворюють більше спожитої електроенергії на корисну роботу, зменшуючи втрати у вигляді тепла [8].

При роботі блоків теплоелектростанцій поза номінальною потужністю відбувається значне збільшення питомої витрати палива, пари та електроенергії на власні потреби [9]. Для вирішення проблеми підвищення енергоефективності власних потреб теплових електростанцій запропоновано метод групового регулювання потужності відцентрових механізмів, який базується на використанні групового перетворювача частоти для базового регулювання потужності відцентрових механізмів. Встановлено, що раціональним є групове регулювання потужності механізмів тяги котла. Для живильного насоса слід використовувати індивідуальний частотно-регульований привід. Завдяки застосуванню цього методу прогнозується зниження споживання електроенергії на власні потреби 10,7% [10].

Однією зі стратегій енергоефективності є розподілена генерація електроенергії. Розподілена генерація стосується виробництва електроенергії з малопотужних генераторів, розташованих поблизу кінцевих споживачів, що може сприяти забезпеченню місцевої енергомережі. Джерела розподіленого виробництва електроенергії можуть включати системи комбінованого виробництва тепла й електроенергії, мікротурбіни, паливні елементи та сонячні панелі. Системи розподіленого виробництва електроенергії мінімізують втрати енергії з ліній передачі та розподілу великої дальності й підвищують надійність електропостачання кінцевих споживачів. Підприємства, які впроваджують системи розподіленого виробництва електроенергії, можуть використовувати надлишок виробленої ними електроенергії як джерело доходу, продаючи її назад до комунальної мережі. Також використовуються технології, які дозволяють енергетичним компаніям накопичувати енергію з періодів пікового виробництва та використовувати її під час періодів пікового попиту. Це запобігає відключенням електроенергії та може оптимізувати загальну продуктивність мережі. Двома основними типами систем накопичення енергії є електрохімічні та електромеханічні. Перші включають акумулятори, а другі — такі технології, як накопичення стисненого повітря, маховики та гідроакумуляючі електростанції, які можуть зменшити втрати енергії та викиди парникових газів шляхом інтеграції відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова [11].

Традиційні методи підключення та живлення від акумуляторів є недостовірними для вузлових мереж високої щільності, що призводить до збільшення витрат на обслуговування та загроз навколишньому середовищу [12, 13]. Пропонується детальний механізм передачі та вилучення енергії, що враховує втрати напруги та заряду, спричинені ключовими перемикачами в схемах управління енергією. Ефективність перетворення енергії збільшується у 8,5 раза завдяки синергетичній оптимізації конфігурацій триобелектричного наногенератора та перемикачів. Його робота базується на принципах триобелектричного ефекту та електростатичної індукції. За допомогою

системного проектування реалізовано джерело живлення на основі трибоелектричного наногенератора з функціями накопичення та регуляції енергії, що демонструє стабільне живлення електронних пристроїв, особливо в галузі носимої електроніки та сенсорів, що не потребують батарейок. Трибоелектричний наногенератор при роботі протягом 21 с може забезпечити стабільну роботу гіротермографа протягом 417 с [14].

Досліджено стратегії технічного обслуговування для підвищення енергоефективності як потенційного підходу до технічного обслуговування. Встановлено, що найефективнішими є управління інтегрованими системами, управління підтримкою систем технічного обслуговування та підвищення їхньої продуктивності для енергоефективності [15]. Також наголошується на важливій ролі роль цифрових технологій у досягненні цілей енергоефективності [16].

Високочастотні перетворювачі стали важливими компонентами в системах відновлюваної енергії, сприяючи інтеграції відновлюваних джерел і підвищуючи продуктивність зарядних пристроїв [17, 18]. Для систем середньої напруги пропонуються модульні багаторівневі перетворювачі з гібридними топологіями для обробки високої змінної/низької постійної напруги, що забезпечує економію напівпровідників і підвищену ефективність, що робить їх придатними для взаємодії відновлюваних джерел з мережею [19]. В дослідженнях ізольованих резонансних перетворювачів постійного струму також аналізують конструкції на основі широкозонних транзисторів, які підтримують високу щільність потужності й ефективність завдяки оптимізованим стратегіям керування, що включають методи фазового зсуву для регулювання потоку потужності та згладжування пульсацій потужності [20]. Розглянуто досягнення у високочастотних перетворювачах для систем відновлюваної енергії, підкреслюючи їхню роль у підвищенні енергоефективності та сталого розвитку. Широкозонні напівпровідники, включаючи карбід кремнію та нітрид галію, призвели до покращення щільності потужності, теплового управління та компактності. Застосування у фотоелектричних і вітроенергетичних системах демонструє вплив перетворювачів на покращення перетворення енергії та надійності системи. Ці інновації підкреслюють трансформаційний потенціал високочастотних перетворювачів у вирішенні глобальних енергетичних проблем, що сприяють розвитку рішень у сфері сталого енергетики [21].

Наразі активно розвивається напрямок використання альтернативних джерел енергії. Запропоновано альтернативну схему енергопостачання для бездротових сенсорних мережевих вузлів — технологію саможивлення, засновану на зборі енергії навколишнього середовища, яке багате на відновлювані джерела енергії, включаючи сонячну [22], океанські хвилі [23] вітер [24]. Оскільки енергія вітру характеризується великим діапазоном частот та адаптивністю масштабів збору енергії, вона має потенціал функціонувати як пристрій з низьким енергоспоживанням [25].

Проаналізовано стратегії регулювання напруги, коли вхідна напруга постійна, а цільова вихідна напруга змінюється в діапазоні 1,2—4,2 В, коливання вихідної напруги адаптивної стратегії керування робочим циклом обмежене 0,034 В. Коли вхідна напруга знаходиться в діапазоні від 1 до 50 В, максимальне коливання вихідної напруги становить 0,344 В, а максимальне відхилення — 9,3%. Коли швидкість вітру становить від 3 до 7 м/с, ефективність перетворення енергії коливається від 24,4% до 56,8%. При помірній швидкості вітру 7 м/с вироблена електроенергія може досягати 6835,2 Дж/день та 2460,68 кДж/рік. Запропоновано схему керування на основі топо-

логії підвищувально-понижувального перетворювача для мініатюрних вітрових енергогенераторів, спрямовану на досягнення стабільної вихідної напруги й ефективного накопичення енергії [26].

Для підтримання належного кліматичного середовища необхідне скорочення споживання енергії та викидів CO₂, що спонукало до зниження енергоспоживання будівлями. Оскільки доступність енергії з викопного палива зменшується, а усвідомлення шкоди для навколишнього середовища, пов'язаної з такими ресурсами, зростає, джерела відновлюваної енергії стали найшвидше зростаючими джерелами енергії для будівель [27]. Досліджено проблеми досягнення цілей енергоефективності й оптимізації енергетичних систем у будівлях. Досягнення зменшення енергоспоживання вимагає безперешкодної інтеграції відновлюваних джерел енергії, систем накопичення енергії та систем управління енергією [28]. Для зменшення споживання енергії застосовують автоматичні оптимізатори напруги, оптимізуючи напругу електропостачання, що значно знижує поточні витрати на електроенергію та, завдяки потребі в меншій кількості енергії, значною мірою допомагає у прагненні зменшити викиди CO₂. Крім того, автоматичні викидачі живлення захищають електрообладнання від стрибків і перепадів напруги.

Ініціативи з підвищення ефективності призвели до скорочення споживання електроенергії, що дорівнює сумі електроенергії, виробленої сонячною та вітровою енергетикою у країнах з найбільш налагодженими програмами, що становить 1500 ТВт·год на рік [29]. У промисловому секторі енергоефективні технології мають вирішальне значення для збільшення виробництва, зниження витрат і мінімізації впливу на навколишнє середовище. Системи когенерації значно підвищують ефективність, одночасно виробляючи електроенергію та корисне тепло, а системи рекуперації відпрацьованого тепла вловлюють та повторно використовують надлишкове тепло, що утворюється під час виробництва [30]. Використання відновлюваних джерел енергії на підприємствах допомагає досягти цілей сталого розвитку та зменшує залежність від викопного палива [31].

Розроблено комплексний підхід до енергозбереження гідравлічної системи з використанням різних стратегій, таких як покращення процесу, підвищення продуктивності обладнання, рекуперація енергії відходів і зменшення втрат енергії. Встановлено, що максимальна ефективність рекуперації енергії стратегії покращення процесу становить 53%, а потенціал економії палива — близько 20—40%. Можливість економії палива на екскаваторній системі з керуванням об'єму становить близько 40% за стратегії енергозбереження, спрямованої на покращення продуктивності обладнання. Максимальний потенціал рекуперації енергії гальмування становить близько 78% від рекуперації енергії відходів. Максимальний потенціал енергозбереження за рахунок дроселювання, який забезпечує стратегія зменшення втрат енергії, становить близько 56—66,1% [32].

У галузі металообробки застосовуються як високі напруги, так і механізми з високою вантажопідйомністю. Одним із основних механізмів в цій галузі є гідравлічні преси. Однак вони споживають багато енергії та володіють низькою енергоефективністю [33]. Невідповідність між встановленою та необхідною потужністю є основною причиною низької енергоефективності. Запропоновано метод рекуперації енергії, заснований на системі накопичення енергії маховика для зменшення встановленої потужності та підвищення енергоефективності пресів. У запропонованому методі енергія маховика використовується для накопичення надлишкової енергії, коли необхідна потужність менша за встановлену. Під час пресування з повільним падінням

накопичена енергія рециркулюється в поєднанні з двигуном змінного струму для роботи проти важкого навантаження, зменшуючи таким чином навантаження на двигун. Крім того, використовується схема приводу зі змінною частотою та спеціальна схема керування для забезпечення характеристик навантаження двигуна та покращення щільності накопичення енергії маховика. Доведено, що встановлена потужність зменшена приблизно на 41,9%, а споживання енергії — на 53% порівняно з традиційними пресами [34].

Енергозатратними є підприємства харчової промисловості та сільськогосподарська діяльність. Результати дослідження показують, що оптимізація врожайності сільськогосподарських культур та зниження споживання енергії є ключовими для підвищення ефективності. Впровадження лише відновлюваної енергії недостатньо для задоволення загальних потреб у енергії, однак воно значно знижує витрати на енергію та викиди вуглецю. Це має включати вивчення альтернативних застосувань залишкового тепла, окрім простого опалення, що може бути корисним для регіонів з мінімальними або відсутніми потребами в опаленні. Крім того, стратегічна інтеграція сільського господарства з іншими галузями промисловості сприятиме ефективному використанню залишкових ресурсів, сприяючи циркулярній економіці та підвищуючи ефективність використання ресурсів. Було визначено два основні рішення: оптимізація врожайності та скорочення споживання енергії. Цього можна досягти шляхом точного контролю оптимальних умов навколишнього середовища, проектування модульних виробництв та інтеграції передових та енергоефективних системних конструкцій [35].

Для роботи з високою напругою застосовують високовольтні силові пристрої. Загалом, силові пристрої повинні підтримувати суттєво високу напругу у вимкненому стані. Найчастіше використовують кремнієві пристрої. Однак беручи до уваги пробивну напругу, втрати потужності та швидкість перемикавання, свою ефективність довели силові пристрої на основі карбіду кремнію. Досліджено основні характеристики силових пристроїв на основі карбіду кремнію, представлено дослідження явищ пробою в рп-переходах карбіду кремнію. Представлено розробку біполярних пристроїв на основі карбіду кремнію, таких як рп-діоди та біполярні транзистори з ізолюваним затвором, які є перспективними для застосувань при надвисоких напругах (>10 кВ) [36].

Щодо силових кремнієвих приладів, потужні польові транзистори на основі метал-оксид-напівпровідника в основному використовуються в діапазоні блокувальної напруги нижче приблизно 800 В, тоді як біполярні транзистори з ізолюваним затвором використовуються в діапазоні напруг вище 600 В. Кремнієві тиристри здебільшого використовуються в діапазоні дуже високих напруг (>5 кВ). Очікується, що потужні польові транзистори на основі карбіду кремнію замінять кремнієві прилади в діапазоні блокувальної напруги від 600 до 6500 В завдяки їх низькому опору у відкритому стані та швидкому перемикаю. Якщо ж напруга нижче 500 В, то пристроям на основі карбіду кремнію буде важко конкурувати з кремнієвими, оскільки кремнієві потужні транзистори в цьому низькому діапазоні напруг демонструють високу продуктивність і досить часто інтегруються зі схемами керування затворами та датчиками. Біполярні транзистори з ізолюваним затвором на основі карбіду кремнію є перспективними в діапазоні дуже високих блокувальних напруг понад 5—8 кВ [37].

Будівлі підстанцій як частина енергетичної інфраструктури містять великогабаритне обладнання, схильне до перегріву, що вимагає значної енергії для охолодження. Основним підходом до досягнення енергоефективних конструкцій підстанцій є

впровадження ефективних систем кондиціонування повітря, використання природної вентиляції та заміна електричних обігрівачів рекуперованим теплом від опалення приміщень [38].

Було досліджено потенціал енергозбереження природної вентиляції та вплив технології відновлюваної енергії на підстанцію. Споживання енергії та енергоефективність слугували критеріями. Основні енергоспоживаючі системи на підстанціях включали різні типи обладнання, кондиціонування повітря, вентиляцію та освітлення. Встановлено, що заміна кондиціонування повітря природною вентиляцією призвела до значного річного енергозберігаючого коефіцієнта потужності на рівні 25,8%, тобто енергоефективність максимізується на 368,71 кВт·год/м². Впровадження технологій відновлюваної енергії, зокрема фотоелектричних панелей, у будівництво підстанцій, може генерувати значний обсяг виробництва енергії від 1,105 до 160,98 МВт·год на рік [39].

Вирішальне значення для передачі та керування електроенергією в електричних мережах мають розподільні пристрої високої напруги: вимикачі змінного струму високої напруги з резервуарним живленням та елегазові розподільчі пристрої [40]. У передачі змінного струму основна увага приділяється заміні SF₆, який є сильним парниковим газом, у розподільчих пристроях високої напруги. Зі збільшенням будівництва ліній «точка-точка» та зростанням потреби в передачі постійного струму високої напруги зі зростанням інтеграції відновлюваних джерел енергії та зростанням попиту на електроенергію з'являються більш складні багатотермінальні топології мережі для передачі постійного струму високої напруги [41].

Для підвищення або пониження напруги використовуються трансформатори. Основу електричних апаратів утворюють системи рідкої ізоляції, ключовими компонентами яких є мінеральні [42], природні ефірні та синтетичні ефірні [43] ізоляційні оливи. Трансформаторна олива, зокрема мінеральна, використовується традиційно у високовольтній техніці [44] завдяки її ізоляційним та тепловим властивостям у поєднанні зі стійкістю до окислення. Вкрай важливо визнати значні екологічні наслідки, пов'язані з її використанням. Однак мінеральна олива проявляє токсичну дію при потраплянні в ґрунт та водойми, має низьку біорозкладність [45]. Низькі температури займання мінеральної оливи створюють додаткову небезпеку, оскільки побічні продукти горіння, зокрема поліциклічні ароматичні вуглеводні, є токсичними [46]. Оскільки мінеральна олива є невідновлюваним викопним ресурсом, її запаси обмежені. Тому розроблено економічно ефективну, екологічно стійку й технологічну діелектричну рідину на основі властивостей натуральних рослинних олій з використанням ефірів як перспективну альтернативу для ізоляції й охолодження трансформаторів. Розроблено нанорідину, яка поєднує касторову, лляну олії та олію кмину. Досліджували ключові діелектричні властивості, такі як відносна діелектрична проникність і коефіцієнт діелектричних втрат. Порівняльний аналіз зі звичайною олією, яка використовувалася як еталон, продемонстрував значні переваги нанорідини на основі рослинної олії. Відносна діелектрична проникність покращилась на 38%, а коефіцієнт діелектричних втрат зменшився на 90%. Були досліджені три методи приготування, причому метод «зеленого» синтезу дозволив отримати нанорідину з кращими діелектричними властивостями [47].

У повітряних системах електропередачі ізолятори забезпечують необхідну ізоляцію між кожною фазою та заземленою траверсою, щоб запобігти витоку струму на землю, а також до опорних лінійних провідників, тому ізолятори повинні мати високий електричний опір ізоляції, високе співвідношення механічної міцності до маси,

високу теплопровідність [48]. Значна увага зосереджується на впливі наповнювачів на покращення теплопровідності, діелектричної міцності, механічної міцності, стійкості до коронного розряду, стійкості до ерозії полімерних матеріалів, що використовуються як ізолятори для високовольтних ліній електропередач. Оскільки більшість полімерних матеріалів (включаючи зовнішні високовольтні ізолятори) мають теплопровідність нижче $0,5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, це може призвести до їх легкої деградації за високих температур через накопичення тепла під час дугового горіння сухою зоною [49]. Використовуються полімерні матеріали, що включають силіконовий каучук, етиленпропілендієновий мономер та епоксидні смоли, наповнені мікро- та наногібридними наповнювачами. Ці ізолятори називаються композитними ізоляторами. Встановлено, що синтетичні неорганічні наповнювачі, які включають діоксид кремнію і гексагональний нітрид бору, є потенційними наповнювачами для покращення ізоляційних характеристик високовольтних ізоляторів. Мікро/нано наповнені композити показали кращі результати завдяки кращій взаємодії між наповнювачем і полімерною матрицею порівняно з їхніми аналогами, що містять лише мікро- або нано наповнювачі [50].

Було встановлено унікальні ізоляційні властивості силікону завдяки високій гідрофобності, яка запобігає зливанню крапель води та дозволяє підтримувати ізоляційну відстань від ізолятора. Силікон також може передавати гідрофобність шару забруднення, що осів на його поверхні [51]. Коли забруднюючі речовини накопичуються на силіконовому ізоляторі, гідрофобність може спочатку втрачатися, але пізніше відновлюється шляхом міграції коротких полімерних ланцюгів на поверхню, явище, яке вивчалось за допомогою різних методів випробувань [52]. Ця властивість самовідновлення усуває необхідність періодичного очищення, що робить композитні ізолятори особливо ефективними в забрудненому середовищі.

Керамічні ізолятори широко використовуються як електричні ізолятори, оскільки забезпечують механічну міцність лініям під напругою та електрично ізолюють їх. Через свою жорстку структуру, велику масу сьогодні їх замінюють полімерними ізоляторами. У процесі виробництва цих ізоляторів перевірка використовуваних полімерних матеріалів стає дуже важливою, оскільки термін служби полімерних матеріалів залежить від складу матеріалів, що використовуються для їх виготовлення [53].

Для безпеки енергосистеми проблему становлять перекриття ізоляторів, спричинені забрудненням через вихід з ладу таких високовольтних ізоляторів. У мережах електропередачі використовуються різні ізолятори — порцелянові та скляні, які є довговічними завдяки своїм електричним та механічним властивостям [54].

Порцелянові ізолятори широко використовуються в електромережах. Найпопулярнішими сферами застосування у системах передачі та розподілу є використання їх як несучих елементів повітряних ліній електропередач і втулок силових трансформаторів [55]. Проведено дослідження щодо оцінки впливу змішування порцелянового матеріалу з мікрочастинками зольного попелу на його діелектричні та фізичні властивості. Встановлено, що зі збільшенням вагового відсотка завантаження золи від 2% до 6%, напруга пробою збільшилася з 29,5 кВ до 56,7 кВ. Збільшення напруги пробою пояснюється бар'єрним ефектом добавок зольного попелу, вбудованого в порцелянову матрицю. Присутність золи всередині порцелянкової матриці призводить до зниження відносної діелектричної проникності та коефіцієнта дисипації. Це зменшення зумовлене меншою рухливістю носіїв заряду для модифікованих порцелянових композицій. Додавання золи у кількості 2%, 4% та 6% зменшує пористість порцелянових зразків на 45%, 54% та 98% порівняно з чистим зразком порцеляни.

Пробивна міцність порцелянових зразків збільшувалася з 46,5 до 77,3 кВ/мм зі збільшенням завантаження зольного попелу всередині порцелянової матриці [56].

Однак через низькі гідрофобні властивості часто утворюються шари забруднення на поверхні порцелянових і скляних ізоляторів, що спричиняє перекриття та струми витоку у вологих умовах. Полімерні ізолятори володіють покращеними гідрофобними властивостями [57], однак вони можуть руйнуватися під впливом ультрафіолетового випромінювання, атмосферних опадів через свою органічну природу [58]. Нанесення гідрофобних покриттів може зменшити перегрівання, пов'язані із забрудненням, запобігаючи утворенню водяної плівки на поверхні ізолятора. Використання нанокompозитів може підвищити механічну міцність, термостабільність та електричні характеристики ізоляторів. Конструкція та конфігурація профілів ізоляторів суттєво впливають на ефективність захисту від забруднення, зменшуючи накопичення забруднюючих речовин, що робить вибір профілю важливим для оптимальної ізоляції [59]. Результати показали, що ребристі ізолятори продемонстрували зниження напруги перекриття на 5,01%, тоді як ізолятори з чергуванням шару зазнали зниження на 3,23% у забруднених умовах порівняно з чистими умовами. Як у чистих, так і в забруднених умовах ізолятори з чергуванням шару постійно перевершували ребристі ізолятори, демонструючи на 25,37% вищу напругу перекриття в чистих умовах та на 27,40% перевагу в забруднених умовах. Ці результати підкреслюють кращу ефективність ізоляторів із чергуванням шарів в забрудненому середовищі [60].

Інноваційні матеріали для високовольтної ізоляції, такі як сучасні полімери та нанокompозити, мають підвищену довговічність та більшу екологічну стійкість порівняно з традиційними ізоляційними матеріалами. Незважаючи на такі проблеми, як вища вартість і масштабованість, їхній потенціал для підвищення ефективності та надійності електричних систем є значним [61].

Тенденцією в проєктуванні повітряних ліній є використання ізоляційних стовпів, наприклад, поліуретанових стовпів, армованих волокном. Ізоляційні стовпи призначені для запобігання будь-яким напругам дотику, а традиційні ізолятори продовжують забезпечувати ізоляцію первинного провідника [62]. Однак інтеграція ізоляційних стовпів як частини основної системи ізоляції поки що не рекомендується, оскільки термін служби ізоляційного стовпа, зазвичай, довший, ніж у ізоляторів у повітряній лінії. Якби стовпи використовувалися як первинні ізоляційні елементи, їх цикли заміни потрібно було б скоротити, що потенційно могло б призвести до передчасної заміни. Видалення повітряного заземлювального дроту в лініях електропередачі з ізоляційними стовпами також не рекомендується [63].

Досліджено фактори, які можуть підвищити рівень електричного поля вздовж високовольтних ізоляторів, та методи контролю напружень, розроблено перспективні технології контролю напружень. Встановлено, що локалізоване посилення поля, особливо в області поблизу потенціалу високої напруги, спричинить передчасне руйнування ізоляційного матеріалу. Окрім посилення електричного поля, механічні напруження та вплив навколишнього середовища також впливають на експлуатаційні характеристики високовольтних повітряних ізоляторів. Перспективною технологією контролю напружень є використання методів градації поля (резистивних та ємнісних), за якої неорганічні наповнювачі додаються до матриць ізоляційного матеріалу для покращення механічних та електричних характеристик ізоляції. Для досягнення нелінійної поведінки базовий полімер, такий як епоксидні смоли або силіконова гума, заповнюється неорганічним наповнювачем. Наповнювачі збільшують відносну діелектричну проникність діелектричного матеріалу. Нелінійний градієнтний матеріал

стає провідним, коли напруженість електричного поля перевищує витримуваний рівень, і цей ефект допомагає гомогенізувати розподіл електричного поля в об'ємі ізоляції й усунути ефект посилення поля [64]. Для зменшення напруження електричного поля на торцевому з'єднанні використовується металеве кільце, яке називається коронним кільцем. Гладка поверхня коронного кільця розподіляє електричне поле для зменшення напруження поля поблизу торцевого з'єднання. Коронні кільця встановлюються на обох кінцях ізолятора (високовольтному та заземленому) на рівні напруги вище 345 кВ. На високовольтних кінцях на рівні напруги від 230 до 345 кВ потрібно лише одне коронне кільце. Для напруги нижче 230 кВ коронні кільця використовуються рідко [65]. Додаткові механічні деталі, такі як коронне кільце або керамічні елементи, можуть призвести до збільшення загальної маси ізоляції. Запропоновано нову конструкцію верхнього фітингу для опорного ізолятора, а саме заміну металевого верхнього фітингу на верхній фітинг для ізоляції, що покращує розподіл електричного поля навколо торцевого фітинга [66].

Відомо, що композитні ізолятори піддаються деградації. Проведено експериментальне дослідження термічного розкладання термореактивної матриці епоксидної/ангідридної смоли в стрижнях з композитним осердям, з використанням піролізної газової хроматографії-мас-спектрометрії. Доведено важливість розриву зшитого мережі [67] та погіршення продуктивності композитних ізоляторів при дії забруднювачів навколишнього середовища [68].

Найважливішим впливом на навколишнє середовище кабельних систем постійного струму високої напруги та конденсаторів є те, що вони дозволяють передавати електроенергію на великі відстані та ефективніше розподіляти енергію по всьому світу. Здатність транспортувати великі обсяги електроенергії з низькими втратами енергії має вирішальне значення для переходу до більш сталого виробництва. Завдяки наявності ізоляційної оболонки, витримувана напруга на автоматичному вимикачі та кабелі є нижчою, ніж та, що додається генератором імпульсної напруги до об'єкта випробування, і зменшена частина напруги переноситься ізоляційною оболонкою. Ізоляційна оболонка відіграє певну роль у розподілі ударної високої напруги. Змінюючи еквівалентну ємність ізоляційної оболонки, можна змінити ступінь покращення ізоляційних характеристик обладнання, встановленого з ізоляційною оболонкою [69].

Глобальна тенденція до збільшення використання сонячних електростанцій і вітрових електростанцій прискорює вимогу щодо будівництва ефективних електричних мереж, які можуть швидко збалансувати постачання та попит на енергію. При фіксованій потужності передачі електроенергії необхідний електричний струм можна зменшити, збільшивши напругу, однак недоліком є те, що втрати резистивної енергії масштабуються пропорційно квадрату напруги. Якщо напруга подвоїться, а товщина ізолятора фіксована, опір необхідно збільшити, щоб резистивні втрати залишалися постійними. Однак діелектричні втрати в ізоляції для кабелів постійного струму високої напруги невеликі порівняно з втратами в провіднику, але це вплине на властивості теплового пробою. Тому з точки зору сталого розвитку бажаною є розробка електричних ізоляторів зі значно вищим питомим опором (нижчою провідністю). Наприклад, ці матеріали можна отримати шляхом змішування різних надчистих полімерів [70, 71], невеликих фракцій добре диспергованих нанонаповнювачів з полімерною матрицею [72]. Ізоляцію кабелів з меншим впливом на клімат можна виготовляти з використанням перероблених пластмас як сировини, коли будуть

встановлені основні електричні явища, що визначають більшість характеристик ізоляційних полімерів. Використання біополіолефінів як заміни синтетичним полімерам є потенційним шляхом до підвищення сталості. Масштабне виробництво біополіетилену вже добре налагоджено [73].

Таким чином, проведені дослідження довели, що основні напрямки енергоефективності можуть бути реалізовані на різних рівнях: від окремо впроваджених енергозберігаючих заходів до масштабних промислових об'єктів. Дотримання вимог щодо енергоефективності дозволить досягти тих самих результатів з меншими витратами енергії, а її впровадження принесе значні вигоди, насамперед економічні. Для підприємств, зокрема і для виробництва у сфері харчової промисловості, — це зниження собівартості продукції та підвищення конкурентоспроможності. На національному рівні енергоефективність сприятиме зменшенню залежності від імпорту енергоносіїв, що підвищить енергетичну безпеку та зробить загальну економіку більш стійкою до коливань світових цін на енергію. З точки зору екологічної вигоди зменшення споживання енергії допоможе знизити викиди парникових газів і зменшити навантаження на електростанції, що, у свою чергу, зменшить утворення радіоактивних відходів (у випадку АЕС) та вплив на водні ресурси (у випадку ГЕС). Це в цілому мінімізує вплив на зміни клімату, що надзвичайно важливо в сучасних умовах.

Висновки. За результатами аналізу наукової літератури щодо функціонування виробництв у різних галузях, в тому числі в харчовій промисловості, з точки зору використання та виробництва електроенергії, було встановлено необхідність і важливість застосування стратегій енергоефективності з метою покращення екологічної ситуації у світі. З огляду на несприятливу ситуацію в енергетичній сфері та світову тенденцію до зниження споживання електроенергії, важливо розробляти стратегії, організації проведення енергоаудиту (аналізу комплексного споживання енергії) для ефективного її використання та зниження витрат на виробництво. Управління енергоефективністю джерел живлення передбачає впровадження різних стратегій і технологій для оптимізації споживання та використання електроенергії.

Представлені технологічні рішення дозволять знижувати витрати на енергоресурси, покращувати екологічні показники, підвищувати конкурентоспроможність і забезпечувати сталий розвиток підприємств.

ЛІТЕРАТУРА

1. Figiel, A. (2020). Technical safety of machinery and equipment in the aspect of the activities of the KOMAG Division of Attestation Tests, Certifying Body. *Mining Machines*, 161, 2—8. <https://doi.org/10.32056/KOMAG2020.1.1>.
2. Gavahian, M., Chaosuan, N., Yusraini, E., Sastry, S. (2025). Roles of ohmic heating to achieve sustainable development goals in the food industry: From reduced energy consumption and resource optimization to innovative production pathways with reduced carbon footprint. *Trends in Food Science & Technology*, 159, 104947. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.104947>.
3. Bedane, T., Marra, F., Maloney, N., Lyng, J. (2025). Recent Advances in Moderate Electric Field (MEF) Systems for Sustainable Food Processing. *Processes*, 13(8), 2662. <https://doi.org/10.3390/pr13082662>.
4. Sinchuk, O., Sinchuk, I., Beridze, T., Filipp, Y., Budnikov, K., Dozorenko, O., Strzelecki, R. (2021). Assessment of the factors influencing on the formation of energy-oriented modes of electric power consumption by water-drainage installations of the mines. *Mining of Mineral Deposits*, 15(4), 25—33. <https://doi.org/10.33271/mining15.04.025>.
5. Thanh, L. X., Bun, H. V. (2021). Identifying the efficiency decrease factor of motors working under power harmonic in 660V electric mining grids. *Mining of Mineral Deposits*, 15(4), 108—113. <https://doi.org/10.33271/mining15.04.108>.

6. Polyanska, A., Savchuk, S., Dudek, M., Sala, D., Pazynich, Y., Cicho, D. (2022). Impact of digital maturity on sustainable development effects in energy sector in the condition of Industry 4.0. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 97—103. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/097>.
7. Pivnyak, G., Azukovskiy, O., Papaika, Y., Cabana, E. C., Miedziński, B., Polnik, B., Jamróz, A., Polyanska, A. (2023). Managing the Power Supply Energy Efficiency by Means of Higher Voltage and Interharmonics. *MDPI AG*, <https://doi.org/10.20944/preprints202309.1904.v1>.
8. Wang, S., Ye, J., Li, W., Du, X. (2012). Energy efficiency evaluation investigation on high voltage inverter retrofit for fans and pumps in power plants. *Proceedings CIGRE Sessions*, 26—31.
9. Mandi, R. P., Yarangatti, U. R. (2012). *Energy efficiency improvement of auxiliary power equipment in thermal power plant through operational optimization*. In 2012 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), 1—8. <https://doi.org/10.1109/pedes.2012.6484459>.
10. Vanin, V., Lasurenko, O., Kruhol, M. (2020). Assessment of group regulation feasibility in thermal power plant auxiliaries capacity control. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(8(108)), 45—53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218586>.
11. Günther, R. (2023). Maximizing energy efficiency in utilities and power companies. strategies and technologies. <https://clouglobal.com/maximizing-energy-efficiency-in-utilities-and-power-companies-strategies-and-technologies/> (дата звернення: 09.09.2025).
12. Zhang, B., He, L., Wang, J., Liu, Y., Xue, X., He, S., Zhang, C., Zhao, Z., Zhou, L., Wang, J., Wang, Z. L. (2023). Self-powered recycling of spent lithium iron phosphate batteries via triboelectric nanogenerator. *Energy & Environmental Science*, 16(9), 3873—3884. <https://doi.org/10.1039/d3ee01156a>.
13. Zhang, B., He, L., Zhang, R., Yuan, W., Wang, J., Hu, Y., Zhao, Z., Zhou, L., Wang, J., Wang, Z. L. (2023). Achieving Material and Energy Dual Circulations of Spent Lithium-Ion Batteries via Triboelectric Nanogenerator. *Advanced Energy Materials*, 13(32). <https://doi.org/10.1002/aenm.202301353>.
14. Wu, H., Shan, C., Fu, S., Li, K., Wang, J., Xu, S., Li, G., Zhao, Q., Guo, H., Hu, C. (2024). Efficient energy conversion mechanism and energy storage strategy for triboelectric nanogenerators. *Nature Communications*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50978-7>.
15. Firdaus, N., Ab-Samat, H., Prasetyo, B. T. (2023). Maintenance strategies and energy efficiency: a review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 29(3), 640—665. <https://doi.org/10.1108/jqme-06-2021-0046>.
16. Schmitt, T., Mattsson, S., Flores-García, E., Hanson, L. (2025). Achieving energy efficiency in industrial manufacturing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 216, 115619. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115619>.
17. Ditze, S., Ehrlich, S., Weitz, N., Sauer, M., Abmus, F., Sacher, A., Joffe, C., Seßler, C., Meißner, P. (2022). A High-Efficiency High-Power-Density SiC-Based Portable Charger for Electric Vehicles. *Electronics*, 11(12), 1818. <https://doi.org/10.3390/electronics11121818>.
18. Heo, D.-H., Kwak, Y.-G., Kang, F.-S., Lee, B.-H. (2023). Power conversion system integrating OBC and LDC using tapped transformers for weight, volume, and cost reductions in electric vehicles. *Journal of Power Electronics*, 23(8), 1262—1271. <https://doi.org/10.1007/s43236-023-00654-8>.
19. Motwani, J. K., Liu, J., Burgos, R., Zhou, Z., Dong, D. (2023). Hybrid Modular Multilevel Converters for High-AC/Low-DC Medium-Voltage Applications. *IEEE Open Journal of Power Electronics*, 4, 265—282. <https://doi.org/10.1109/ojpe.2023.3259741>.
20. Shahed, Md. T., Rashid, A. B. M. H.-U. (2023). An Improved Topology of Isolated Bidirectional Resonant DC-DC Converter Based on Wide Bandgap Transistors for Electric Vehicle Onboard Chargers. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 1—18. <https://doi.org/10.1155/2023/2609168>.
21. Arévalo, P., Ochoa-Correa, D., Villa-Ávila, E. (2024). Towards Energy Efficiency: Innovations in High-Frequency Converters for Renewable Energy Systems and Electric Vehicles. *Vehicles*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.3390/vehicles7010001>.
22. Du, X., Li, P., Li, Z., Liu, X., Wang, W., Feng, Q., Du, L., Yu, H., Wang, J., Xie, X., Tang, L. (2024). Multi-pillar piezoelectric stack harvests ocean wave energy with oscillating float buoy. *Energy*, 298, 131347. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131347>.
23. Wei, X., Yi, Z., Li, W., Zhao, L., Zhang, W. (2023). Energy harvesting fueling the revival of self-powered unmanned aerial vehicles. *Energy Conversion and Management*, 283, 116863. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116863>.
24. Cao, F., McEnaney, K., Chen, G., Ren, Z. (2014). A review of cermet-based spectrally selective solar absorbers. *Energy & Environmental Science*, 7(5), 1615. <https://doi.org/10.1039/c3ee43825b>.

25. Qi, L., Kong, L., Wang, Y., Song, J., Azam, A., Zhang, Z., Yan, J. (2023). Recent Progress in Application-Oriented Self-Powered Microelectronics. *Advanced Energy Materials*, 13(47). <https://doi.org/10.1002/aenm.202302699>.
26. Li, Y., Zong, R., Song, J., Chen, Z., Yang, C., Qi, L., Yan, J. (2025). An energy management strategy integrating high-efficiency voltage regulation and charge protection for ambient energy harvesting system. *Energy*, 320, 135228. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.135228>.
27. REN21. Renewables 2021 Global Status Report. Paris. 2021. URL: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report> (дата звернення: 09.09.2025).
28. Chen, X., Vand, B., Baldi, S. (2024). Challenges and Strategies for Achieving High Energy Efficiency in Building Districts. *Buildings*, 14(6), 1839. <https://doi.org/10.3390/buildings14061839>.
29. Bera, M., Das, S., Garai, S., Dutta, S., Roy Choudhury, M., Tripathi, S., Chatterjee, G. (2025). Advancing energy efficiency: innovative technologies and strategic measures for achieving net zero emissions. *Carbon Footprints*, 4(1), 3. <https://doi.org/10.20517/cf.2024.48>.
30. Catrini, P., Curto, D., Franzitta, V., Cardona, F. (2020). Improving energy efficiency of commercial buildings by Combined Heat Cooling and Power plants. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102157. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102157>.
31. Segun-Falade, O. D., Osundare, O. S., Kedi, W. E., Okeleke, P. A., Ijomah, T. I., Abdul-Azeez, O. Y. (2024). Developing innovative software solutions for effective energy management systems in industry. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(8), 2649—2669. <https://doi.org/10.51594/estj.v5i8.1517>.
32. Mahato, A. C., Ghoshal, S. K. (2020). Energy-saving strategies on power hydraulic system: An overview. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 235(2), 147—169. <https://doi.org/10.1177/0959651820931627>.
33. Li, X., Palazzolo, A. (2022). A review of flywheel energy storage systems: state of the art and opportunities. *Journal of Energy Storage*, 46, 103576. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103576>.
34. Yan, X., Nie, S., Chen, B., Yin, F., Ji, H., Ma, Z. (2023). Strategies to improve the energy efficiency of hydraulic power unit with flywheel energy storage system. *Journal of Energy Storage*, 59, 106515. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106515>.
35. Mun, H.-S., Laguna, E. B., Hong, S.-K., Ryu, S.-B., Sharifuzzaman, M., Hasan, M. K., Kim, Y.-H., Yang, C.-J. (2025). Energy-Efficient Technologies and Strategies for Feasible and Sustainable Plant Factory Systems. *Sustainability*, 17(7), 3259. <https://doi.org/10.3390/su17073259>.
36. Kimoto, T. (2022). High-voltage SiC power devices for improved energy efficiency. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 98(4), 161—189. <https://doi.org/10.2183/pjab.98.011>.
37. Lidow, A., De Rooij, M., Strydom, J., Reusch, D., Glaser, J. (2015). *GaN Transistors for Efficient Power Conversion, 2nd ed.* New York: John Wiley&Sons.
38. Bin, D., Jing-wen, L., Ya-juan, H., Qi, C. (2021). Measurement and Simulation of Energy Consumption in Indoor Substation. *Journal of Building Energy Efficiency*, 49 (12), 85—90.
39. Yang, D., Huang, X., Lin, Y., Zhang, J., Zheng, C., Shi, F. (2023). A case study of energy-efficient strategies for substation building in hot and humid climate zone. In 2023 2nd International Conference on Public Service, Economic Management and Sustainable Development (PESD 2023), Advances in Economics, Business and Management Research. Xiamen, China: Atlantis Press, 20—30. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-344-3_4.
40. Ito, H. (2019). HVDC Switching Equipment. In *Switching Equipment*, 503—538. Springer, Cham.
41. Seeger, M., Macedo, F., Riechert, U., Bujotzek, M., Hassanpoor, A., Häfner, J. (2025). Trends in High Voltage Switchgear Research and Technology. *Transactions on electrical and electronic engineering*, 20(3), 322—338. <https://doi.org/10.1002/tee.24244>.
42. Shill, D. C., Das, A. K., Chatterjee, S. (2020). Insulation and cooling performance of transformer oil based nanofluid. In *2020 International Conference on Computer, Electrical & Communication Engineering (ICCECE)*, 1—4. <https://doi.org/10.1109/ICCECE48148.2020.9223077>.
43. Beroual, A., Khaled, U., Alghamdi, A. M. (2020). DC breakdown voltage of synthetic ester liquid-based nanofluids. *IEEE Access*, 8, 125797—125805. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3006169>.
44. Filho, A. A. P., Luna, F. M. T., Cavalcante, C. L. (2019). Oxidative stability of mineral naphthenic insulating oils: Optimization of commercial antioxidants and metal passivators. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 26 (1), 240—246. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2018.007513>.
45. Jacob, J., Preetha, P., Thiruthi Krishnan, S. (2020). Review on natural ester and nanofluids as an environmental friendly alternative to transformer mineral oil. *IET Nanodielectrics*, 3(2), 33—43. <https://doi.org/10.1049/iet-nde.2019.0038>.

46. Li, C., Zhang, X., Wang, X., Zhang, X., Liu, S., Yuan, T., Qu, W., Zhang, Y. (2022). Distribution Characteristics and Potential Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Pollution at a Typical Industrial Legacy Site in Tianjin, North China. *Land*, 11(10), 1806. <https://doi.org/10.3390/land11101806>.
47. Siddique, A., Shahid, M. U., Aslam, W., Atiq, S., Altmania, M. R., Munir, H. M., Zaitsev, I., Kuchanskyy, V. (2025). Sustainable Insulating Materials for High-Voltage Equipment: Dielectric Properties of Green Synthesis-Based Nanofluids from Vegetable Oils. *Sustainability*, 17(4), 1740. <https://doi.org/10.3390/su17041740>.
48. Cheng, L., Mei, H., Wang, L., Guan, Z., Zhang, F. (2016). Research on aging evaluation and remaining lifespan prediction of composite insulators in high temperature and humidity regions. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 23(5), 2850—2857. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2016.7736845>.
49. Xiao, M., Du, B. X. (2016). Review of high thermal conductivity polymer dielectrics for electrical insulation. *High Voltage*, 1(1), 34—42. <https://doi.org/10.1049/hve.2016.0008>.
50. Saleem, M. Z., Akbar, M. (2022). Review of the Performance of High-Voltage Composite Insulators. *Polymers*, 14(3), 431. <https://doi.org/10.3390/polym14030431>.
51. Hergert, A., Kindersberger, J., Bär, C., Bärsch, R. (2017). Transfer of hydrophobicity of polymeric insulating materials for high voltage outdoor application, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 24(2), 1057—1067. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2017.006146>.
52. Bar, C., Barsch, R., Hergert, A., Kindersberger, J. (2016). Evaluation of the retention and recovery of hydrophobicity of insulating materials in high voltage outdoor applications under AC and DC stresses with the dynamic drop test. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 23(1), 294—303. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2015.005348>.
53. Rajini, H., Ballaji, A., Saahithi, S., Bharat, M., Ashwini Kumari, P. (2022). Comparative performance of insulating materials used in high voltage insulators. In *AIP Conference Proceeding*, 2461(1), 040001. <https://doi.org/10.1063/5.0094121>.
54. Liu, H., Li, H., Li, X. (2012). Study on the Flashover mechanism and prevention measures of high voltage insulators. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 1000—1009.
55. Jin, S., Mo, W., Wei, J., Lu, G., Li, X., Wang, Y. (2017). *Analysis and verification of strength of 110 kV porcelain post insulator*. In 2017 4th International Conference on Electric Power Equipment — Switching Technology (ICEPE-ST), 1010—1014. <https://doi.org/10.1109/ICEPE-ST.2017.8188996>.
56. Karaman, H. S., Sherif, S. M. M., El-Gamal, S. M. A., Abdel-Rahim N., Abd-Allah, M. A. (2024). Performance enhancing of porcelain insulators using low cost micro additives. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(4), 102622. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102622>.
57. Manjang, S., Kitta, I., Kumiawan, H. (2022). *Effect of pollutants on flashover of porcelain, glass and polymer insulators*. The 4th EPI International Conference on Science and Engineering (EICSE), 2543(1), 040011. <https://doi.org/10.1063/5.0095346>.
58. Cheng, J. J., Liu, L., Deng, Y. Q. (2015). Aging and performance of composite insulators under various environmental conditions. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2151—2161.
59. Farzaneh, M. (2010). Electrical performance of high voltage outdoor insulators under contaminated conditions. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1460—1466.
60. Ali, A., Bhatti, A. R., Rasool, A., Rehman, F. U., Khan, M. A., Ali, A., Sherefa, A. (2024). Performance analysis of high voltage disc insulators with different profiles in clean and polluted environments using flashover, withstand voltage tests and finite element analysis. *Scientific Reports*, 14, 20299. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71392-5>.
61. Vega-Vega, M., Hernández-Herrero, C. (2024). Innovative materials for high voltage insulation. *International Journal of Advances in Electrical Engineering*, 5(1), 40—42. <https://www.electricaltechjournal.com/article/53/5-1-6-493.pdf> (дата звернення: 09.09.2025).
62. Fecht, G. (Ed.). (2019). *Recommended Practice for fiber-reinforced Polymer Products for Overhead Utility Line Structures*. American Society of Civil Engineers (ASCE). <https://doi.org/10.1061/9780784415443>.
63. Llovera-Segovia, P. (2025). Materials for high voltage insulation: Open challenges for electrostatics experts. *Journal of Electrostatics*, 104118. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2025.104118>.
64. Al-Gheilani, A., Rowe, W., Li, Y., Wong, K. L. (2017). Stress Control Methods on a High Voltage Insulator: A Review. *Energy Procedia*, 110, 95—100. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.112>.

65. Hamdi, M., Teguvar, M., Mekhaldi, A. (2016). Optimal Design of Corona Ring on HV Composite Insulator Using PSO Approach with Dynamic Population Size. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 23(2), 1048—1057. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2015.005383>.
66. Hrastnik, J., Pihler, J. (2009). Designing a New Post Insulator Using 3-D Electric-Field Analysis. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 24 (3), 1377—1381. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2009.2022662>.
67. Wan, Z., Zhang, D., Gao, C., Lu, M., Li, Z., Huang, Z., You, Y., Wang, Z. (2024). Experimental study on the thermal decomposition of epoxy/anhydride thermoset matrix in composite insulator core rods. *Polymer Degradation and Stability*, 222, 110697. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2024.110697>.
68. Pang, G., Zhang, Z., Jiang, X., Lu, M., Gao, C. (2023). Effect of electrical erosion on composite insulator core rod under acidic environment. *Journal of Materials Research and Technology*, 22, 3525—3535. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.12.156>.
69. Li, C., Lin, L., Qu, W. (2022). Study on insulation performance optimization of EMU high-voltage equipment box. *Journal of Physics: Conference Series*, 2195, 012040. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2195/1/012040>.
70. Ouyang, Y., Pourrahimi, A. M., Östergren, I., Mellqvist, M., Ånevall, J., Soroudi, A., Lund, A., Xu, X., Gkourmpis, T., Hagstrand, P. O., Müller, C. (2021). Highly insulating thermoplastic blends comprising a styrenic copolymer for direct-current power cable insulation. *High Voltage*, 7(2), 251—259. <https://doi.org/10.1049/hve2.12177>.
71. Hosier, I. L., Vaughan, A. S., Pye, A., Stevens, G. C., (2019). High performance polymer blend systems for HVDC applications, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 26(4), 1197—1203. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2019.007954>.
72. Pourrahimi, A. M., Olsson, R. T., Hedenqvist, M. S. (2017). The Role of Interfaces in Polyethylene/Metal-Oxide Nanocomposites for Ultrahigh-Voltage Insulating Materials. *Advanced Materials*, 30(4), 1703624. <https://doi.org/10.1002/adma.201703624>.
73. Bjurström, A., Edin, H., Hillborg, H., Nilsson, F., Olsson, R. T., Pierre, M., Unge, M., Hedenqvist, M. S. (2024). A Review of Polyolefin-Insulation Materials in High Voltage Transmission; From Electronic Structures to Final Products. *Advanced materials*, 36(52), 2401464. <https://doi.org/10.1002/adma.202401464>.

УДК 004.8:664:658

DEEP LEARNING MODELS FOR FORECASTING DEMAND FOR DAIRY PRODUCTS

K. Chornobai, O. Sedykh, S. Hrybkov
National University of Food Technologies

Key words:

milk processing industry, forecasting, deep learning, artificial neural networks, information technology

Article history:

Received 28.07.2025

Received in revised form 12.08.2025

Accepted 16.08.2025

Corresponding author:

chornobaiku@nuft.edu.ua

ABSTRACT

The use of the considered neural networks with feedback loops for forecasting the required raw materials and demand for dairy products is justified by their ability to effectively model time dependencies and take into account the previous states of the system. In dairy production, the key parameters are fluctuations in demand for finished products and changes in the volume of available raw materials, which are usually highly seasonal and cyclical in nature.

This approach makes it possible to obtain models that can be used to accurately forecast demand for finished products, raw material requirements, and inventory levels for a given period. Such forecasts are critical for optimizing production processes, reducing costs, and improving the efficiency of supply chains in the food industry. In particular, the use of neural networks is justified by their ability to perform nonlinear modeling of complex time series, which surpasses traditional statistical methods in conditions of market uncertainty.

The purpose of this work is to analyze deep learning models for forecasting demand for dairy products. Forecasting demand for finished products is one of the important tools for the dairy industry, as it will enable more efficient management of raw material and finished product inventories. The purpose of this work is to analyze deep learning models for forecasting demand for dairy products. Forecasting demand for finished products is one of the important tools for the dairy industry, as it will enable more efficient management of raw material and finished product stocks. The work provides an in-depth analysis of domestic and foreign studies. The authors identified and tested four models: Long Short-Term Memory, Gated Recurrent Unit, One-dimensional Convolutional Neural Network, and Dense Network. Experimental studies were conducted on retrospective data on demand and production, which is publicly available. The authors created models using Python libraries that provide automatic configuration and the ability to forecast demand and the amount of raw materials required.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-20

МОДЕЛІ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА ПРОДУКЦІЮ МОЛОКОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

К. Ю. Чернобай, ст. викладач, ORCID ID 0000-0002-5627-4444

О. Л. Сєдих, ст. викладач, ORCID ID 0000-0003-4590-2019

С. В. Грибков, д-р техн. наук, ORCID ID 0000-0002-2552-2839

Національний університет харчових технологій

Метою пропонованої статті є аналіз моделей глибокого навчання для прогнозування попиту на продукцію молокопереробної промисловості. Прогнозування попиту на готову продукцію є одним із важливих інструментів для молокопереробної промисловості, адже воно надасть можливість більш ефективно керувати запасами сировини та готової продукції. Здійснено глибокий аналіз вітчизняних і зарубіжних досліджень. Автори виділили та здійснили апробацію чотирьох моделей Long Short-Term Memory, Gated Recurrent Unit, One dimensional Convolutional Neural Network, Dense network.

Експериментальні дослідження проводилися на ретроспективних даних про попит та виготовлення, що є у відкритому доступі. Створено моделі з використанням бібліотек Python, які забезпечують автоматичне налаштування та можливість прогнозувати попит і кількість необхідної сировини.

Ключові слова: молокопереробна промисловість, прогнозування, глибоке навчання, штучні нейронні мережі, інформаційні технології

Вступ. На основі аналізу інтернет-джерел планування і постачання сировини через прогнозування попиту має критичне значення для молочно-переробної промисловості через швидке псування продукції та сезонні коливання виробництва. Ціни на молочні продукти визначаються вартістю сировини, упаковки, енергоносіїв і транспортними витратами, тому точне прогнозування попиту є критично важливим для контролю витрат і забезпечення рентабельності виробництва [1].

Особливістю планування молокопереробної промисловості з виготовлення молочної продукції є те, що воно повинно охоплювати такі аспекти планування: від ланцюга поставок, орієнтованого на продукт, до ланцюга поставок, орієнтованого на клієнта та споживача; від планування поставки сировини до послідовності виготовлення готової продукції; планування постачання готової продукції. Традиційні методи регресії або статистичні моделі часто не здатні адекватно враховувати комплексні часові взаємозв'язки між показниками попиту, постачанням сировини та зовнішніми факторами.

Постановка проблеми. Харчова промисловість відноситься до тих галузей, що не витримує очікування зі сторони керівників операційних процесів. Для підвищення швидкості та всебічного аналізу ситуацій постає питання аналізу ретроспективних даних і прогнозу основних показників діяльності підприємства. Для забезпечення поєднання та прискорення цього процесу необхідно дослідити доступні методи і підходи для реалізації програмних модулів задля застосування їх у процесі планування.

Для поєднання та прискорення цього процесу недостатньо використовувати традиційні методи. Враховуючи все вищезазначене, необхідно дослідити доступні методи і підходи для реалізації програмних модулів для прогнозування основних показників діяльності підприємства з використанням штучних нейронних мереж.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У вітчизняних і зарубіжних джерел досліджуються питання постачання сировини та готової продукції вчасно, а також

проблеми планування запасів сировини та готової продукції [2]. Для створення найкращого планування потрібно здійснювати точне передбачення попиту та постачання сировини, аналіз можливих відхилень, що дає змогу передбачити перебіг майбутніх періодів. У літературі виділяють чотири типи штучних нейронних мереж [3, 4]: нейронні мережі прямого поширення (Feedforward Neural Network, FNN); нейронні мережі зі зворотними зв'язками (Recurrent Neural Networks, RNN); нейронні мережі з латеральними зв'язками (Lateral Connections Neural Networks, LCNN); глибинні нейронні мережі (Deep Neural Networks, DNN).

Нейронні мережі прямого поширення характеризуються односпрямованим потоком інформації від входу до виходу без зворотних або циклічних зв'язків. Вони моделюють статичні залежності та застосовуються для класифікації, регресії й апроксимації функцій. Одношарові перцептрони забезпечують лінійну класифікацію, тоді як багатошарові мережі дозволяють апроксимувати нелінійні залежності завдяки наявності прихованих шарів і використанню функцій активації, таких як сигмоїдна або гіперболічний тангенс. Радіально-базисні мережі з тришаровою структурою та радіальними базисними функціями забезпечують швидке навчання й ефективну інтерполяцію, але всі мережі цього класу не враховують часові залежності [5, 6].

Нейронні мережі зі зворотними зв'язками включають цикли в графі зв'язків, що дозволяє моделювати динамічні процеси та враховувати попередні стани. Такі мережі ефективні для аналізу часових рядів, мовних сигналів і інших динамічних систем, але можуть зазнавати проблем зі стійкістю [7—9].

Нейронні мережі з латеральними зв'язками характеризуються боковими зв'язками всередині шару і часто самоорганізуються. Вони особливо корисні для неспостережного навчання й аналізу структурованих даних, проте потребують налаштування топології [3].

Глибинні нейронні мережі мають багатошарову архітектуру для ієрархічної обробки складних даних. Глибинні мережі потребують значних даних і ресурсів, проте вони досягають високої точності в складних завданнях [10—12].

У праці [13] аналізуються ключові типи нейронних мереж, зокрема перцептрони, конволюційні та рекурентні архітектури, що демонструють здатність до моделювання складних нелінійних залежностей і обробки послідовних даних. Особливу увагу приділено алгоритмам навчання, серед яких домінує метод зворотного поширення помилки, а також сучасним варіаціям градієнтного спуску. У статті порушуються питання перенавчання, узагальнення, інтерпретованості моделей та обчислювальної складності.

У праці [14] розглянуто підхід до прогнозування часових рядів шляхом поєднання двох моделей — Prophet і довготривалої короткочасної пам'яті LSTM, також здійснено порівняльний аналіз точності прогнозування окремих моделей та їх ансамблю, що продемонстрував покращення результатів у контексті обробки реальних часових рядів.

Рекурентні нейронні мережі RNN є базовими моделями для обробки послідовних даних, які здатні враховувати залежності між послідовними елементами. Однак їхній основний недолік полягає у проблемі зникнення градієнтів під час навчання, що ускладнює моделювання довготривалих залежностей у часових рядах [15].

Мета дослідження: аналіз існуючих нейронних моделей та обґрунтований вибір готових бібліотек для побудови й подальшого використання моделей прогнозування попиту на молочну продукцію, а також проведення апробації обраних моделей. Обрані бібліотеки повинні легко інтегруватися та використовуватися в подальших проєктах.

Матеріали і методи. Розглянуто літературні науково-практичні джерела, у яких описано використання моделей LSTM (Long Short-Term Memory), GRU (Gated Recurrent Unit), DNN (Dense Neural Network), 1D CNN (One-dimensional Convolutional Neural Network). Проведено апробацію програмних бібліотек Python, що реалізують зазначені нейронні моделі, в середовищі Google Colab на наборі даних з джерела <https://www.kaggle.com>.

Результати досліджень. LSTM — різновид архітектури рекурентної нейромережі, створеної для більш точного моделювання часових послідовностей і їх довгострокових залежностей, ніж традиційна рекурентна мережа. Має складну внутрішню структуру, в якій присутні механізми «забуття» (forget gate), «входу» (input gate) і «виходу» (output gate), що дає змогу зберігати інформацію на довші часові проміжки й працювати з довготривалими залежностями [16]. Елементами моделі є Gate (гейт) параметризовані функції, які визначають, яку частину інформації слід зберегти, оновити або забути на кожному кроці обробки послідовності. Вони реалізуються за допомогою сигмоїдальних або тангенціальних активаційних функцій, що дозволяє моделі навчатися в оптимальному режиму пам'яті.

Часто LSTM використовується в блоках з декількох елементів. Ці блоки складаються з 3 або 4 гейтів (наприклад, вхідних, вихідних і забуваючих гейтів), які керують побудовою інформаційного потоку логістичної функції. Мережа LSTM не використовує функцію активації в періодичних компонентах, збережені значення не змінюються, а градієнт не має тенденції зникати під час навчання [17—20]. У багатопарових LSTM шари накладаються: вихід одного шару стає входом для наступного.

GRU різновид RNN, який вирішує проблему короткочасної пам'яті та пропонує спрощену альтернативу LSTM з метою ефективного моделювання тимчасових залежностей у послідовностях при зменшенні кількості параметрів і обчислювальної складності [21, 22, 23].

GRU використовують механізм керованих гейтів (gates) для адаптивного збереження або оновлення інформації в прихованому стані, що дозволяє ефективно вловлювати залежності різних часових масштабів у часових рядах, тексті та інших послідовних даних.

GRU поєднує вхідний гейт і гейт забуття LSTM в один гейт оновлення, що призводить до більш спрощеної роботи. На відміну від LSTM, GRU не містить окремого блоку стану. GRU використовує трикомпонентний поточний вміст пам'яті, гейта оновлення (update gate) та гейта скидання (reset gate). Вони забезпечують GRU можливість вибірково оновлювати та використовувати інформацію з попередніх кроків часу, що дозволяє йому фіксувати довгострокові залежності в послідовностях.

GRU, на відміну від LSTM, має менше параметрів, що часто дає переваги у швидкості навчання й потребі в обчислювальних ресурсах при збереженні якості моделювання в багатьох практичних задачах. Однак у деяких сценаріях (дуже тривалі залежності або специфічні архітектури) LSTM може працювати більш стабільніше й точніше. Спираючись на результати досліджень [24—26], автори статті схиляються до думки, що GRU дає швидше навчання та порівняно або кращу точність за LSTM, особливо на обмежених за розміром наборах даних, однак в задачах дуже довготривалих залежностей (наприклад, певні види мовних моделей або складні послідовності з тривалими затримками) LSTM іноді показує стабільніші результати, особливо коли застосовано ретельне налаштування.

Dense Neural Network — щільно-з'єднані нейронні мережі, що мають альтерна-

тивну назву Multi-Layer Perceptron (MLP), призначені для побудови нелінійних відображень між вхідними векторами ознак і цілями моделі з метою вирішення задач регресії та класифікації [27]. Структура DNN характеризується повнотою з'єднань між сусідніми шарами, що забезпечує гнучкість у моделюванні взаємодій між будь-якими ознаками, але водночас породжує швидке зростання числа параметрів зі збільшенням ширини чи глибини мережі. Теоретичні результати про універсальність апроксимації формалізують можливість наближення широкого класу неперервних функцій за допомогою достатньо широкого або глибокого MLP, проте практична реалізація вимагає регуляризації й ретельного налаштування, аби уникнути перенавчання на обмежених наборах даних [28, 29].

Математична модель DNN для прогнозування базується на послідовних лінійних перетвореннях із нелінійними активаціями. Вона проста, але гнучка, особливо з розширенням (наприклад, Dense Network Expansion) для інкрементальних завдань. Якщо потрібна модель для іншої задачі (наприклад, класифікація чи рекурентна мережа), необхідно уточнити, і вона адаптує відповідь.

Початковий етап роботи мережі полягає у прийомі та підготовці вхідних даних, що включає перетворення сирих даних у векторний формат, масштабування або нормалізацію даних. Якість і коректність цієї підготовки визначає просторово-статистичні властивості вхідного простору та істотно впливає на збіжність і узагальнювальні властивості моделі [30].

Основний цикл DNN складається з циклу «forward → loss → backward → update».

1D CNN — це клас глибинних нейронних мереж, у яких основна операція — одномірний згортка (convolution) — застосовується по одному виміру даних (часова послідовність, сигнал, послідовність ознак). Такі мережі найчастіше використовуються для обробки часових рядів [31, 32].

Для створення та налаштування моделей було задіяно бібліотеки мови програмування Python, такі як TensorFlow, Keras та PyTorch, які забезпечують ефективні підключення, конфігурацію та тренування нейронних мереж на заданому часовому інтервалі. Робота проводилася в середовищі Google Colab, яке надає хмарні обчислювальні ресурси та інтеграцію з репозиторіями даних.

Послідовність дій щодо обробки заданого набору даних була такою: спочатку дані завантажувалися до робочого середовища з відкритих джерел. Далі проводилося очищення даних, що включало видалення пропущених значень, обробку викидів, нормалізацію та трансформацію змінних для забезпечення якості вхідної інформації. Лише після цього здійснювався попередній аналіз даних, зокрема статистичний опис (середні значення, дисперсія, кореляційний аналіз) та візуалізація (графіки часових рядів, гістограми) задля виявлення патернів та аномалій.

Для кожної готової моделі був сформований файл готової моделі з розширенням *.keras, наприклад, для моделі 1D CNN була створена файл з моделлю conv1d_model.keras. Створений файл можливо підключити в інші проєкти, і не обов'язково в середовищі Google Colab.

Усі моделі нейронних мереж тренувалися паралельно з метою порівняння їхньої ефективності. Для кожної моделі підбиралися оптимальні параметри, такі як кількість шарів, швидкість навчання, розмір батчу та функції активації.

Оцінка побудованих моделей проводилася з використанням класичних метрик регресії та прогнозування [33]: коефіцієнт детермінації (R^2); середня абсолютна похибка (MAE); середньоквадратична помилка (MSE); корінь середньоквадратичної помилки (RMSE).

Дослідження проводилися на різних вибірках. Наприклад, на рис. 1 представлено інтерактивний графік результатів вибірки за полем продукт = 'Ice Cream' та бренд = 'Dodla Dairy'. На цьому наборі даних найкраще себе показала модель GRU, адже вона балансує між продуктивністю й узагальненням. GRU має найнижчі помилки на тренувальному наборі серед рекурентних показників (MAE Train=119.28, RMSE Train=157.19), стабільна на тестових даних (MAE Test=135.99, RMSE Test=159.32), і найвища R^2 Train=0.17 серед усіх інших моделей, окрім Dense, адже остання перетренована. Помилки на валідаційних даних нижчі за LSTM і Dense. LSTM схожа, але гірша за помилками. Dense та Conv1D мають сильне перетренування, вони непридатні без доопрацювання. Якщо дані мають довгі залежності, тоді краще використовувати GRU/LSTM; для локальних залежностей — Conv1D з регуляризацією. LSTM добре справляється з тренувальними й тестовими даними (MAE Train \approx Test, RMSE Train \approx Test), демонструючи стабільність. Це свідчить про схильність виявляти довготривалі залежності в послідовностях. Однак валідаційна вибірка значно гірша (Val помилки вищі на ~ 50 — 80%), що може вказувати на недостатнє навчання (underfitting) або невідповідність Val даних. Загалом, модель не досягає високої точності ($R^2 \sim 0.08$ — 0.09), пояснюючи лише малу частку варіації. На графіку є можливість приховати чи відобразити кожен вид ряду, натиснувши в полі легенда на відповідному позначенні.

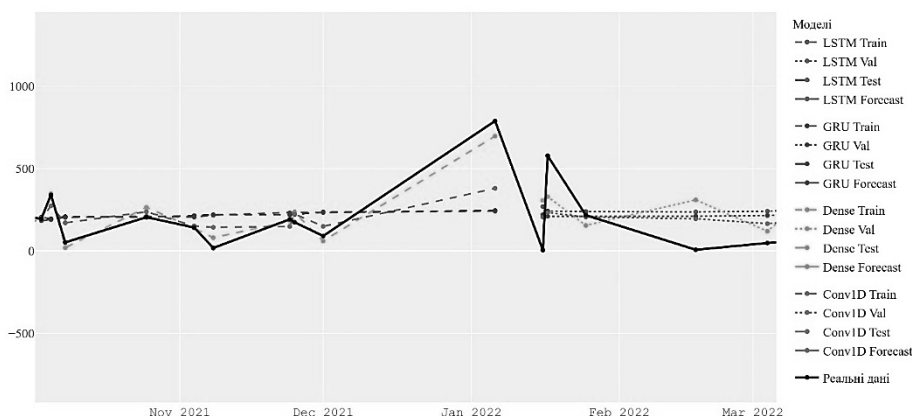


Рис. 1. Інтерактивний графік результату тренування, валідації, тестування та прогнозу

На інтерактивному графіку за замовчуванням відображаються всі ряди, отримані в результаті тренування, валідації, тестування та прогнозування даних для LSTM, GRU, Dense, 1D CNN. Вхідні дані відображаються суцільною чорною лінією.

Сукупність інструментарію Google Colab і відкритих бібліотек мови Python надає можливість побудови моделі глибинного навчання для прогнозування попиту на продукцію молокопереробної промисловості. Крім того, при побудові є можливість натренувати їх на певних наборах даних і зберегти окремими файлами для подальшого їх використання в інших програмних продуктах.

Висновки. Проведено аналіз існуючих архітектур нейронних мереж і способів їх реалізацій з використанням бібліотек Python. Застосування нейронних мереж для планування виготовлення молочної продукції є перспективним напрямом, який дає змогу значно підвищити ефективність виробничо-логістичних систем. Використання таких мереж також дозволяє автоматизувати адаптацію прогнозу моделі під мінливі умови ринку, знижуючи ризик надлишкових запасів або дефіциту продукції, що безпосередньо впливає на економічну ефективність підприємства. Розроблені моделі

забезпечать більш точне прогнозування попиту, оптимальне використання ресурсів і скорочення втрат від псування продукції. Практична реалізація таких рішень сприятиме підвищенню конкурентоспроможності молокопереробних підприємств і формуванню гнучких цифрових систем управління, здатних адаптуватися до швидких змін ринку.

Використання розглянутих нейронних мереж зі зворотними зв'язками для прогнозування необхідної сировини та попиту на молочну продукцію обґрунтовується їх здатністю ефективно моделювати часові залежності й враховувати попередні стани системи. В умовах виробництва молочної продукції ключовими параметрами є коливання попиту на готову продукцію та зміни обсягів наявної сировини, які, зазвичай, мають виражену сезонну та циклічну природу.

Завдяки цьому підходу були отримані моделі, які в подальшому дозволять здійснювати точне прогнозування попиту на готову продукцію, потреб у сировині та рівня запасів на визначений період. Такі прогнози є критично важливими для оптимізації виробничих процесів, зменшення витрат і підвищення ефективності ланцюгів постачання в галузях харчової промисловості. Зокрема, використання нейронних мереж обґрунтовується їхньою здатністю до нелінійного моделювання складних часових рядів, що перевершує традиційні статистичні методи в умовах невизначеності ринкових факторів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Спільне планування, прогнозування та поповнення запасів. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Спільне_планування,_прогнозування_та_поповнення_запасів (дата звернення: 20.08.2025).
2. Voluntary Interindustry Commerce Standards (VICS). CPFR — Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment. VICS Standard. VICS Association, 2002. URL: https://www.academia.edu/11559135/CPFR_Collaborative_Planning_Forecasting_and_Replenishment_CPFR_An_Overview?source=wp_share (дата звернення: 20.08.2025).
3. Субботін, С. О. (2020). *Нейронні мережі : теорія та практика*: навч. посіб. Житомир: Вид. О. О. Євенок.
4. Thakur, A., Konde A. (2021). Fundamentals of Neural Networks. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 9(VIII), 407—426.
5. Zilliz. Feedforward Neural Networks (FNN). URL: [https://zilliz.com/glossary/feedforward-neural-networks-\(fnn\)](https://zilliz.com/glossary/feedforward-neural-networks-(fnn)) (дата звернення: 20.08.2025).
6. Feedforward neural network: Mathematical foundations. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Feedforward_neural_network#Mathematical_foundations (дата звернення: 20.08.2025).
7. GeeksforGeeks. Introduction to Recurrent Neural Networks. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/machine-learning/introduction-to-recurrent-neural-network/> (дата звернення: 20.08.2025).
8. Amazon Web Services (AWS). What is RNN? — Recurrent Neural Networks Explained. URL: https://aws.amazon.com/what-is/recurrent-neural-network/?nc1=h_ls (дата звернення: 20.08.2025).
9. Das, S., Tariq, A., Santos, T. et al. (2023). Recurrent Neural Networks (RNNs): Architectures, Training Tricks, and Introduction to Influential Research. In: Colliot O. (ed.) *Machine Learning for Brain Disorders*. New York, NY: Humana, Chapter 4. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3195-9_4.
10. Mienye, I. D., Swart, T. G. (2024). A Comprehensive Review of Deep Learning: Architectures, Recent Advances, and Applications. *Information*, 15(12), 755. <https://doi.org/10.3390/info15120755>.
11. Alsuhli, G., Sakellariou, V., Saleh, H., Al-Qutayri, M., Mohammad, B., Stouraitis, T. (2023). Number Systems for Deep Neural Network Architectures. In: *Deep Neural Networks Overview. Synthesis Lectures on Engineering, Science, and Technology (SLEST)*, First Online: September 2023, 7—15. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38133-1_2.
12. Bharath, K. Introduction to Deep Neural Networks. DataCamp. <https://www.datacamp.com/tutorial/introduction-to-deep-neural-networks> (дата звернення: 20.08.2025).
13. Qamar, R. (2023). Artificial Neural Networks: Basic Concepts and Structures. *Mesopotamian Journal of Computer Science*, 118, 7—15. <https://doi.org/10.58496/MJCS/2023/015>.

14. Лосенко, А. В., Козачко, О. М., Варчук, І. В. (2024). Нейромережевий ансамбль для прогнозування часових рядів на основі Prophet та LSTM. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*, 41, 49—57. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2024-4-49-57>.
15. GMDH. Streamline: програмне забезпечення для планування попиту. <https://gmdhsoftware.com/ua/demand-planning-software/> (дата звернення: 20.08.2025).
16. Рекурентна нейронна мережа. Вікіпедія. https://uk.wikipedia.org/wiki/Рекурентна_нейронна_мережа (дата звернення: 20.08.2025).
17. Соколов, І. С. (2020). *Методи нейромережевого прогнозування часових рядів*: атестаційна робота. Харків: Харківський національний університет радіоелектроніки. <https://openarchive.nure.ua/bitstreams/67251258-3836-438d-badf-e2dbd4c568e6/download> (дата звернення: 20.08.2025).
18. Olah, C. (2015). Understanding LSTM Networks. 27 серпня 2015. <https://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/> (дата звернення: 20.08.2025).
19. Кобилін, О., Вечірська, І., Кравченко, О. (2024). Порівняння нейронних мереж типу RNN та LSTM. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 3, 97—107. <https://doi.org/10.32782/IT/2024-3-10>.
20. Пелешак, І. Р., Литвиненко, Ю. Р. (2024). Високоточне прогнозування часових рядів за допомогою рекурентної нейронної мережі з LSTM блоками. DOI: 10.51582/interconf.19-20.05.2024.063.
21. Cho, K., van Merriënboer, B., Gulcehre, C., Bahdanau, D., Bougares, F., Schwenk, H., Bengio, Y. (2014). *Learning Phrase Representations using RNN Encoder-Decoder for Statistical Machine Translation*: Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), 1724—1734. <https://doi.org/10.3115/v1/D14-1179>.
22. Gated Recurrent Unit. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Gated_recurrent_unit (дата звернення: 20.08.2025).
23. TensorFlow. `tf.keras.layers.GRU`. https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras/layers/GRU (дата звернення: 20.08.2025).
24. Jozefowicz, R., Zaremba, W., Sutskever, I. (2015). *An Empirical Exploration of Recurrent Network Architectures*: Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning, 37, 2342—2350. <https://proceedings.mlr.press/v37/jozefowicz15.pdf>.
25. Chung, J., Gulcehre, C., Cho, K., Bengio, Y. (2014). Empirical Evaluation of Gated Recurrent Neural Networks on Sequence Modeling. arXiv preprint arXiv:1412.3555. <https://arxiv.org/pdf/1412.3555> (дата звернення: 20.08.2025).
26. ArunKumar, K. E., Kalaga, D. V., Kumar, C. M. S., Kawaji, M., Brenza, T. M. (2022). Comparative analysis of Gated Recurrent Units (GRU), Long Short-Term Memory (LSTM) cells, autoregressive integrated moving average (ARIMA), seasonal autoregressive integrated moving average (SARIMA) for forecasting COVID-19 trends. *Alexandria Engineering Journal*, 61(10), 7585—7603. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.01.011>.
27. Nazari, F., Yan, W. (2021). Convolutional versus Dense Neural Networks: Comparing the Two Neural Networks Performance in Predicting Building Operational Energy Use Based on the Building Shape. arXiv preprint arXiv:2108.12929. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.12929>.
28. Scikit-learn. Моделі нейронних мереж (кероване навчання). https://scikit-learn.org/stable/modules/neural_networks_supervised.html (дата звернення: 20.08.2025).
29. Mohd Noor, M. H., Ige, A. O. (2025). A Survey on State-of-the-art Deep Learning Applications and Challenges. arXiv preprint. <https://arxiv.org/html/2403.17561v7>.
30. Zhang, A., Lipton, Z. C., Li, M., Smola, A. J. (2025). Dive into Deep Learning: Chapter 5.1. Multilayer Perceptrons. https://d2l.ai/chapter_multilayer-perceptrons/mlp.html (дата звернення: 20.08.2025).
31. Kiranyaz, S., Avci, O., Abdeljaber, O., Ince, T., Gabbouj, M., Inman, D. J. (2021). 1D convolutional neural networks and applications: A survey. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 151, Article 107398. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2020.107398>.
32. Cordeiro, J. R., Raimundo, A., Postolache, O., Sebastião, P. (2021). Neural Architecture Search for 1D CNNs—Different Approaches, Tests and Measurements. *Sensors (Basel)*, 21(23), Article 7990. <https://doi.org/10.3390/s21237990>.
33. Скидан, П. В., Замрій, І. В. (2025). Методика оцінки ефективності моделей прогнозування поведінки фінансових ринків. *Сучасний захист інформації*, 1(61), 134—144. <https://doi.org/10.3167/3/2409-7292.2025.011908>.

УДК 621.869.8

FUNCTIONAL-MECHATRONIC MODULE BASED ON ANTAGONISTIC PAIR OF PNEUMOMUSCLES FOR SORTING PACKAGED FOOD PRODUCTS

Ya. Voitiuk, M. Iakymchuk

*National University of Food Technologies***Key words:**

pneumatic muscle,
mechatronic module,
automation,
sorting,
food products,
packaging system,
energy efficiency,
adaptability

Article history:

Received 15.08.2025

Received in revised form
22.08.2025

Accepted 24.08.2025

Corresponding author:

yaroslav.voitiuk@gmail.com

ABSTRACT

The article presents the results of the development and analytical study of a functional-mechatronic module for sorting packaged food products using an antagonistic pair of pneumatic muscles. The proposed design provides adaptive control of the sorting flap movement by regulating the pressure in the pneumatic actuators, which allows for fast and precise redirection of the packaged food product flow. A mathematical model of the system's operation was developed, taking into account the nonlinear characteristics of pneumatic muscles, the dependence of torque on pressure increment was determined, and a simplified linearized model for calculating control signals was proposed. A control system structure with a proportional pneumatic valve and pressure sensors is introduced, which increases the accuracy and stability of the sorting flap movement. The obtained results can be applied to integrate the developed functional-mechatronic module into food industry packaging lines in order to enhance productivity and positioning accuracy.

In addition, the importance of using pneumatic muscles in the food industry is emphasized, since they ensure smooth motion, low noise levels, energy efficiency, and environmental safety compared to traditional pneumatic and electric actuators. This makes the developed module particularly promising for enterprises striving to meet modern standards of sustainable production and automation.

The proposed modeling approach allows predicting the module's dynamic behavior and optimizing control parameters at the design stage, which helps shorten implementation time. The results have both the theoretical and the practical value, combining mathematical modeling, a simplified control algorithm, and demonstration of integration into real production lines for practical applications.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-21

ФУНКЦІОНАЛЬНО-МЕХАТРОННИЙ МОДУЛЬ НА ОСНОВІ АНТАГОНІСТИЧНОЇ ПАРИ ПНЕВМОМУСКУЛІВ ДЛЯ СОРТУВАННЯ ТАРНО-ШТУЧНИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Я. Ю. Войтюк, аспірант, ORCID ID: 0009-0000-1266-7433

М. В. Якимчук, д-р техн. наук, ORCID ID: 0000-0002-1905-3546

Національний університет харчових технологій

У статті представлено результати розробки та дослідження функціонально-мехатронного модуля сортування пакованих харчових продуктів з антагоністичною парою пневмомускулів. Конструкція забезпечує адаптивне керування рухом заслінки шляхом регулювання тиску в приводах, що дає змогу швидко й точно змінювати напрямок руху продукту. Побудовано математичну модель з урахуванням нелінійних характеристик приводів, визначено залежність крутного моменту від приросту тиску та розроблено спрощену модель для розрахунку керуючих сигналів. Система з пропорційним клапаном і датчиками тиску підвищує точність і стабільність роботи, а результати можуть бути використані для інтеграції модуля в пакувальні лінії.

Ключові слова: пневмомускул, мехатронний модуль, автоматизація, сортування, харчові продукти, упаковка, енергоефективність, адаптивність.

Вступ. Сучасні пакувальні лінії й технологічне обладнання харчової промисловості активно модернізуються з метою підвищення швидкодії, точності та енергоефективності. В конструкціях обладнання нового покоління дедалі ширше впроваджуються приводи на основі пневмомускулів, які завдяки своїй конструкції здатні забезпечувати плавний і контрольований рух робочих органів, що є ключовим для точного позиціонування у високошвидкісних процесах.

Використання пневмомускулів у механізмах і пристроях пакувальних машин відкриває нові функціональні можливості, зокрема дозволяє зменшити інерційні зусилля рухомих частин, підвищити точність виконання операцій та знизити рівень шуму під час роботи обладнання. Крім того, виконавчі механізми на основі пневмомускулів є енергоефективними й екологічно безпечними, що відповідає сучасним стандартам сталого виробництва.

Застосування пневмомускулів в обладнанні харчової промисловості особливо актуальне для малих і середніх підприємств, які потребують гнучких технічних рішень, що не вимагають значних капітальних витрат і забезпечують швидкий перехід на нові стандарти виробництва харчової продукції.

Разом із тим існує низка проблем, що стримують широке впровадження таких рішень. Серед ключових відсутність комплексних методик розрахунку і моделювання роботи функціональних пристроїв із пневмомускулами, які б враховували нелінійні характеристики цих приводів, особливості їх роботи в динамічних режимах та інтеграцію у багатокомпонентні автоматизовані системи керування.

Отже, сьогодні першочерговим завданням є створення комплексних інженерних методик, які дозволяють не лише розрахувати параметри пневмомускулів, а й оптимізувати роботу всієї системи, в яку вони інтегровані. Вирішення цієї проблеми забезпечить модернізацію наявних виконавчих пристроїв, надасть їм розширені функціональні можливості та підвищить продуктивність, точність і надійність пакувального обладнання.

Огляд останніх досліджень і публікацій. У працях [1—4] досліджено основні принципи роботи та конструктивні особливості пневмомускулів, а також їх застосування у різних галузях промисловості, зокрема для приводів лінійних переміщень і захоплювальних механізмів. Розглянуто вплив конструкції виконавчих органів на динаміку переміщення та визначено основні критерії вибору приводів для харчової промисловості. Однак ці дослідження не враховують специфіку використання пневмомускулів у системах сортування та пакування харчових продуктів, де особливу роль відіграють точність позиціонування, швидкодія та стабільність роботи при змінних умовах виробництва.

Питанням розробки та оптимізації мехатронних модулів на основі пневмомускулів присвячені праці [5—8]. Автори пропонують різні математичні моделі та методи розрахунку параметрів таких систем, включаючи підходи на основі біоміметичних принципів і flatness-based контролю. Проте ці методики потребують суттєвого вдосконалення для використання у харчовій промисловості, оскільки у них не повною мірою враховано вплив нелінійностей, гістерезису й температурних коливань, а також відсутні рекомендації щодо інтеграції пневмомускулів у багатокомпонентні системи із сенсорним контролем і високими вимогами до гігієнічності конструкції.

Дослідження [8—11] присвячені інтеграції пневмомускулів у системи автоматизованого керування технологічними процесами, моделюванню динаміки та розробці алгоритмів стабілізації руху. Проте запропоновані рішення не висвітлюють роботу пристроїв сортування харчових продуктів, де необхідно враховувати зміну мас і забезпечувати високу повторюваність процесу.

Мета досліджень: створення та дослідження функціонально-мехатронного модуля на основі антагоністичної пари пневмомускулів для сортування пакованих харчових продуктів.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є функціонально-мехатронний модуль сортування на основі антагоністичної пари пневмомускулів для процесів сортування пакованих харчових продуктів. Основним методом дослідження є аналітичне моделювання роботи функціонально-мехатронного модуля сортування.

Результати досліджень. Розроблений функціонально-мехатронний модуль сортування складається зі стрічкового конвеєра, сортувальної заслінки та антагоністичної пари пневмомускулів (рис. 1). Стрічковий конвеєр транспортує паковані харчові продукти до зони сортування, де заслінка перенаправляє потік у відповідний канал.

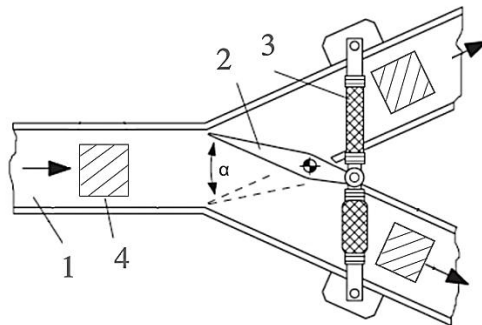


Рис. 1. Функціонально-мехатронний модуль сортування на основі антагоністичної пари пневмомускулів для процесів сортування пакованих харчових продуктів: 1 — стрічковий конвеєр; 2 — сортувальна заслінка з куту повороту; 3 — пневмомускули; 4 — пакований харчовий продукт

Основою роботи системи є регулювання тиску в пневмомускульній парі, що дозволяє адаптивно змінювати траєкторію руху заслінки залежно від сигналів системи керування. Завдяки такому підходу модуль легко переналаштовується під різні типи продукції та режими роботи лінії, що робить його універсальним рішенням для харчової промисловості.

Система забезпечує високу надійність і простоту конструкції завдяки застосуванню двох пневмомускулів, з'єднаних за антагоністичною схемою.

Пневмомускул являє собою гнучкий пневматичний привід, що працює під дією надлишкового тиску повітря. Конструктивно він складається з еластичного герметичного рукава 1, виготовленого з високоякісного бутадієн-нітрильного каучуку (NBR) або іншого термостійкого еластомеру, покритого нитковим кордом, сплетеним за ромбічною (опліточною) схемою під певним кутом ($30\text{--}40^\circ$) до осі рукава. Така косичкова сітка забезпечує перетворення радіального розширення на осьове скорочення. З обох боків рукав закріплюється торцевими фланцями 2, які одночасно виконують функцію з'єднувальних елементів із механізмом приводу. У центральній частині одного з фланців розташовано отвір для підведення стисненого повітря 3 (рис. 2).

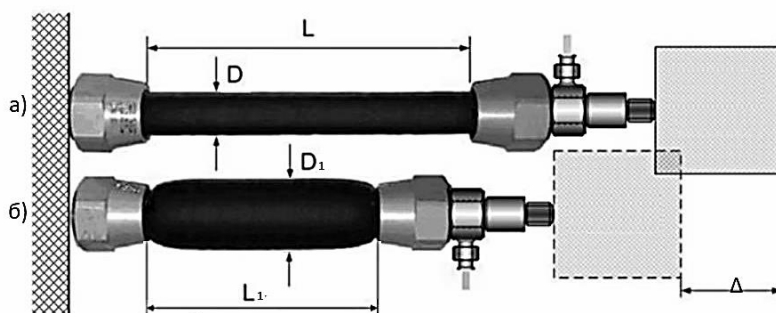


Рис. 2. Конструкція та принцип роботи пневмомускула: а — початкове положення пневмомускула; б — кінцеве положення, де D , D_1 — початковий і кінцевий діаметри рукава, L , L_1 — початкова та кінцева довжина, Δ — хід

При подачі стисненого повітря еластичний герметичний рукав розширюється в радіальному напрямку та скорочується по довжині, створюючи тягове зусилля на своїх кінцях. Зазвичай, максимальне скорочення становить близько 25% від номінальної довжини.

Для забезпечення руху заслінки в обох напрямках використовується антагоністичне з'єднання пари пневмомускулів. У початковому положенні один пневмомускул перебуває під тиском стисненого повітря, створюючи зусилля на заслінку у вихідному напрямку, тоді як інший з'єднаний з атмосферою.

Для зміни положення заслінки тиск у першому пневмомускулі знижується шляхом стравлювання повітря в атмосферу, а в другий одночасно подається стиснене повітря до встановленого рівня. Синхронність роботи пневмомускулів забезпечується системою керування, яка контролює тиск у кожному приводі за допомогою датчиків тиску.

Різниця тисків у парі пневмомускулів створює обертальний момент на валу заслінки, внаслідок чого вона швидко та плавно переміщується у заданий напрямок. Такий принцип роботи забезпечує високу швидкість та плавність руху, що є критично важливим для процесів сортування пакованих продуктів на високопродуктивних конвеєрних лініях.

Моделювання роботи функціонально-мехатронного модуля сортування на основі антагоністичної пари пневмомускулів для процесів сортування пакованих харчових продуктів. Пневмомускул є пневматичним приводом мембранного типу, який скорочується під дією надлишкового тиску повітря. Сортувальна заслінка, що приводиться в дію парою пневмомускулів, моделюється в антагоністичній конфігурації: робочий (активний) пневмомускул позначається як агоніст або флексор, тоді як протилежний (пасивний) пневмомускул виконує функцію антагоніста або екстензора.

Рівняння руху для кута повороту сортувальної заслінки θ можна записати у стандартній формі:

$$\theta = \frac{I(F_1 - F_2)r}{L}, \quad (1)$$

де θ — кут повороту заслінки, рад; I — момент інерції шківів, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; F_1 та F_2 — сили натягу, Н; r — радіус повороту сортувальної заслінки, м.

При моделюванні роботи пневмомускула робимо припущення, що втрати енергії на тертя у підшипникових опорах вала сортувальної заслінки є незначними, тому вплив сил тертя на динаміку її руху не враховується.

У запропонованій методиці розрахунку пневмомускула осьова сила визначається як функція надлишкового тиску стисненого повітря всередині оболонки та коефіцієнта скорочення приводу [4]. При цьому пневмомускул розглядається як ідеалізований циліндр зі змінним діаметром і довжиною, який зберігає сталу довжину оплетення. За умови, що під час роботи приводу не виникають непродуктивні втрати повітря та деформації матеріалу оболонки не впливають на баланс енергії, рівняння для визначення сили натягу F (Н) можна подати у вигляді:

$$F(p, \varepsilon) = p \frac{D_0^2 \pi}{4a(1-\varepsilon)^2} - b, \quad (2)$$

де $a = 3 \tan^2(\alpha_0)$; $b = \frac{1}{\sin^2(\alpha_0)}$; $\varepsilon = \frac{L_0 - L}{L_0}$; L_0 і D_0 — відповідно, початкова довжина та номінальний діаметр пневмомускула, коли він не скорочується; α_0 — початковий кут плетеного чохла між волокном і поздовжньою віссю пневмомускула.

У рівноважному положенні заслінки обидва приводи накачуються приблизно однаковим тиском p_0 і скорочуються з початковим коефіцієнтом скорочення ε_0 . Для виконання обертального руху заслінки під певним кутом θ пневмомускули активуються таким чином, що один з них накачується до $p_A = p_0 + \Delta p$, коефіцієнт скорочення стає $\varepsilon_A = \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon$, довжина стає $L_0 - \Delta L$, а сила натягу становить F_1 . Інший одночасно розряджається до $p_B = p_0 - \Delta p$, коефіцієнт скорочення стає $\varepsilon_B = \varepsilon_0 - \Delta\varepsilon$, довжина стає $L_0 + \Delta L$, а сила скорочення становить F_2 .

Чим більший внутрішній тиск повітря, тим більше скорочується пневмомускул. Таким чином, Δp не різниця між двома пневмомускулами, а приріст заданого тиску або відстань від початкового тиску p_0 . Під час роботи системи один пневмомускул скорочується, тоді як другий розширюється приблизно на ту ж саму величину, що забезпечує високу жорсткість системи.

Сили скорочення пневмомускулів тепер можна виразити рівнянням:

$$\begin{aligned} F_1 &= (p_0 + \Delta p)[a_1(1 - \varepsilon_A)^2 - b_1]; \\ F_2 &= (p_0 - \Delta p)[a_1(1 - \varepsilon_B)^2 - b_1], \end{aligned} \quad (3)$$

де швидкості скорочення

$$\begin{aligned} \varepsilon_A &= \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon = \varepsilon_0 + \frac{\Delta L}{L_0} = \varepsilon_0 + \frac{d\theta}{L_0}; \\ \varepsilon_B &= \varepsilon_0 - \Delta\varepsilon = \varepsilon_0 - \frac{\Delta L}{L_0} = \varepsilon_0 - \frac{d\theta}{L_0}, \end{aligned} \quad (4)$$

а a_1 та b_1 визначені як:

$$a_1 = \frac{3D_0^2}{4\pi} \tan^2(\alpha_0);$$

$$b_1 = \frac{D_0^2}{4\pi} \sin^2(\alpha_0).$$

Використовуючи вирази для сил скорочення, момент, що приводить у рух заслінку, задається рівнянням:

$$T = \left\{ (p_0 + \Delta p) \left[a_1 \left(1 - \epsilon_0 - \frac{d\theta}{L_0} \right)^2 - b_1 \right] - (p_0 - \Delta p) \left[a_1 \left(1 - \epsilon_0 + \frac{d\theta}{L_0} \right)^2 - b_1 \right] \right\} d. \quad (5)$$

У наведеному виразі припускається, що згенерований момент T є функцією приросту тиску Δp та кутового положення заслінки θ . Нелінійну функцію приводного моменту, задану в загальному вигляді $T(p, \theta)$, можна ліанеризувати та виразити в спрощеній формі:

$$T = \frac{\partial T}{\partial \Delta p} \Delta p + \frac{\partial T}{\partial \theta} \Delta \theta. \quad (6)$$

Якщо припустити, що момент T залежить лише від приросту тиску Δp і не є функцією кутового положення заслінки θ , то часткова похідна дорівнює:

$$K_1 = \frac{\partial T}{\partial \Delta p} = 2d[a_1(1 - \epsilon_0)^2 - b_1]. \quad (7)$$

Таким чином, спрощений вираз для згенерованого моменту повороту заслінки можна записати у вигляді:

$$T = K_1 \Delta p. \quad (8)$$

Цей вираз демонструє, що момент T , генерований пневмомускулами, пропорційний приросту тиску, що підводиться до них, і може бути в подальшому використаний для розрахунку динамічних характеристик заслінки.

Аналітичне дослідження зміни крутного моменту від приросту тиску за запропонованою методикою наведено на рис. 3.

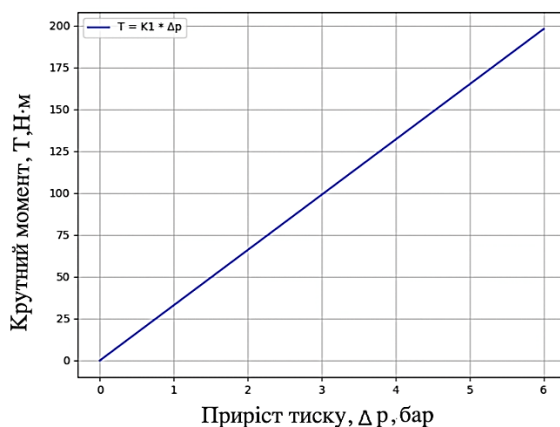


Рис. 3 Залежність крутного моменту від приросту тиску

З аналізу отриманого графіка видно, що збільшення приросту тиску в антагоністичному з'єднанні пари пневмомускулів призводить до пропорційного зростання крутного моменту на валу сортувальної заслінки.

Разом із тим, у реальних умовах спостерігаються значні нелінійні ефекти у поведінці пневматичних систем, що зумовлені стисливістю повітря, інерційністю потоків і гістерезисом оболонки пневмомускула. Ці фактори можуть призводити до затримок у формуванні зусилля та зниження точності позиціонування заслінки.

Для мінімізації таких ефектів у системі керування запропонованої конструкції передбачено використання пропорційного клапана (рис. 4), який забезпечує плавне регулювання подачі повітря, стабілізацію тиску в робочих камерах і покращення відтворюваності крутного моменту.

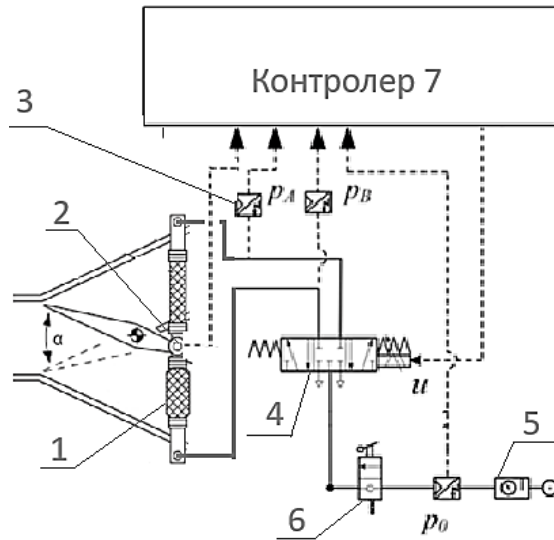


Рис. 4. Схема керування функціонально-мехатронним модулем сортування на основі антагоністичної пари пневмомускулів для процесів сортування пакованих харчових продуктів: 1 — пневмомускули; 2 — енкадер сортувальної заслінки; 3 — датчики тиску (p_0 , p_A , p_B); 4 — пневматичний розподільник з пропорційним керуванням; 5 — фільтр-регулятор; 6 — клапан безпеки; 7 — контролер керування

Пропорційне керування системи забезпечує високу точність і стабільність роботи переміщення сортувальної заслінки. Контролер формує аналоговий сигнал для пневматичного клапана, який регулює подачу стисненого повітря в пневмомускули, забезпечуючи їх узгоджене скорочення та видовження під час кожного сортувального циклу. Такий підхід дозволяє виконувати сортування пакованої харчового продукту навіть за високої швидкості руху конвеєра. Важливою перевагою такої системи є адаптивність системи: параметри керування легко переналаштовуються для роботи з різними типами та розмірами упаковок без суттєвої модернізації обладнання. Крім того, застосування пневмомускулів забезпечує плавність і безударність руху заслінки, що особливо важливо при зменшенні динамічного навантаження на упаковки.

Отже, запропонована система керування функціонально-мехатронним модулем сортування на основі антагоністичної пари пневмомускулів і пневматичним клапаном з пропорційним керуванням є ефективним, економічно доцільним та екологічно безпечним рішенням для автоматизованого сортування в харчовій промисловості, здатним підвищити продуктивність і надійність технологічних процесів.

Для запропонованої схеми керування удосконалимо динамічну модель роботи функціонально-мехатронного модуля сортування шляхом визначення зв'язку між тиском у пневмомускулах і керуючим сигналом на клапані. Якщо припустити, що тимчасова реакція тиску має (квазі-)аперіодичну форму і може бути апроксимована терміною першого порядку затримки, де вхідним сигналом є керуюча команда u , а виходом варіація тиску Δp , то рівняння керування пневмомускулами має вигляд:

$$\tau_m \Delta p + \Delta p = K_m u, \quad (9)$$

де K_m — передавальний коефіцієнт; τ_m — час затримки.

Отримана динамічна модель дозволяє спростити управління антагоністичною парою пневмомускулів шляхом використання пропорційного клапана для зміни вихідного сигналу. Застосування отриманих залежностей для програмування контролерів керування функціонально-мехатронним модулем сортування може значно підвищити ефективність позиціонування заслінками, що працюють на базі пневмомускулів.

Висновки. На основі отриманих результатів запропонованої моделі функціонально-мехатронного модуля сортування на основі антагоністичної пари пневмомускулів для процесів сортування пакованих харчових продуктів можна зробити такі висновки:

- розроблено та представлено конструкцію функціонально-мехатронного модуля сортування пакованих харчових продуктів, у якій заслінка приводиться в дію антагоністичною парою пневмомускулів;

- проведений огляд конструкцій вітчизняних і закордонних механізмів та пристроїв обладнання харчової промисловості, в яких використовується пневмомускул встановив, що комплексний підхід до моделювання таких систем з урахування нелінійних характеристик пневмомускула відсутній;

- запропоновано спрощену лінеаризовану модель, яка пов'язує крутний момент заслінки з приростом тиску, що спрощує подальший синтез системи керування;

- рекомендовано застосування пропорційного клапана й датчиків тиску для стабілізації тиску та покращення відтворюваності крутного моменту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Іакимчук, М., Гавва, О., Бєспалко, А. (2014). Research of mechatronic linear module with pneumatic drive on the use of proportional pressure regulators. *Journal of food and packaging science, technique and technologies*, 3, 92—97.
2. Якимчук, М. В. та ін. (2020). Дослідження впливу конструкцій захоплювальних пристроїв на динаміку роботи лінійних двигунів у мехатронних модулях переміщення упаковок. *Харчова промисловість*, 27, 114—125.
3. Павленко, І. І., Годунко, М. О. (2020). *Захватні пристрої роботів*: монографія. Кропивницький: ТОВ «КОД».
4. Bader, F., Rahimifard, S. (2020). A methodology for the selection of industrial robots in food handling. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 64, 102379. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102379>.
5. Ковальов, Ю. А., Кошель, С. О., Манойленко, О. П. (2020). *Проектування промислових роботів та маніпуляторів*: навч. пос. Київ: Центр учбової літератури.
6. Caldwell, D. G., Tsagarakis, N., Medrano-Cerda, G. A. (2000). Bio-mimetic actuators: polymeric pseudo muscular actuators and pneumatic muscle actuators for biological emulation, *Mechatronics*, 10, 499—530.
7. Hildebrandt, A., Sawodny, O., Neumann, R., Hartmann, A. (2002). *A Flatness Based Design for Tracking Control of Pneumatic Muscle Actuators*, 7th Int. Conf. on Control, Automation, Robotics and Visions, ICARCV, 3, 1156—1161.
8. Espenschied, K. S., Quinn, R. D., Beer, R. D., Chiel, H. J. (1996). Biologically based distributed control and local reflexes improve rough terrain locomotion in a hexapod robot. *Robotics and Autonomous Systems*, 18(1—2), 59—64.
9. Astrom, K. J., Furuta, K. (2000). Swinging up a Pendulum by energy control. *Automatica*, 36(2), 287—295.
10. Daerden, F., Lefeber, D. (2002). Pneumatic Artificial Muscles: actuators for robotics and automation. *European Journal of Mechanical and Environmental Engineering*, 47, 10—21.
11. Inoue, K. (1987). *Rubbertuators and applications for robotics*. Proc. of the 4th Int. Symp. On Robotics Research, 57—63..

УДК 621.798, 621.694

IMPLEMENTATION OF THE OPTIMAL DOSE FORMATION OF LIQUID PRODUCTS BY WEIGHT IN ADAPTRONIC FUNCTIONAL MODULES OF PACKAGING MACHINES ACCORDING TO THE SPEED LAW

O. Gavva, L. Kryvoplias-Volodina, B. Myckailyk, L. Martsynkevych, O. Chepeliuk
National University of Food Technologies

Key words:

liquid products,
adaptronic dosing module,
structural diagram,
consumer packaging,
packaging machine

Article history:

Received 18.08.2025
Received in revised form
24.08.2025
Accepted 30.08.2025

Corresponding author:

gavvaua@gmail.com

ABSTRACT

In modern packaging machines that implement a flow-weight method of forming a dose of liquid products in consumer packaging, the accumulation of products is carried out in two stages — forming the main part of the dose and forming the final value of the dose value. Typically, the second stage lasts several times longer than the first stage, which is justified by the significant impact on the accuracy of the dose of the dynamic component of the load on the weighing system. The duration of dose formation can be reduced by regulating the intensity of liquid product supply into the container. To solve the problem of optimizing the rate law of forming a dose of liquid products while ensuring a given dosing accuracy, an iterative method of regulating the throughput of the feeder was used, the final result of which is obtaining a given product weight.

Based on the results of theoretical studies of the force action of products on the weighing system, functional dependences of the change in the feeder throughput during the dosing operation were obtained. The implementation of the feeder throughput is possible in various ways; the paper considers the option of changing the effective cross-sectional area of the feeder by changing the valve position..

The valve system is reliable and widely used in adaptronic modules for dosing and packaging liquid products. In modern conditions, the valve is moved due to its kinematic connection with an individual drive. The law of motion of the valve's driven link depends on the geometry of the valve and the nozzle seat. To implement the optimal rate-of-action law for forming a dose of liquid products in consumer packaging, a synthesized structural diagram of an adaptronic dosing and packaging module is proposed.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-22

РЕАЛІЗАЦІЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗА ШВИДКОДІЄЮ ЗАКОНУ ФОРМУВАННЯ ДОЗИ РІДКОЇ ПРОДУКЦІЇ ВАГОВИМ СПОСОБОМ В АДАПТРОННИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛЯХ ПАКУВАЛЬНИХ МАШИН

О. О. Гавва, аспірант, ORCID ID 0009-0004-4979-7943

Л. О. Кривопляс-Володіна, д-р техн. наук, ORCID ID 0000-0001-9906-6381

Б. В. Михайлик, ORCID ID 0009-0009-5315-279X

Л. В. Марцинкевич, ORCID ID: 0000-0003-2215-9912

О. М. Чепелюк, канд. техн. наук, ORCID ID: 0000-0001-6295-6305

Національний університет харчових технологій

У статті виконано аналіз вагового способу формування дози рідкої продукції та структури адаптронного модуля дозування й фасування рідких продуктів у пакувальних машинах. За результатами проведеного аналізу й теоретичних досліджень запропонована вдосконалена структурна схема адаптронного модуля дозування та фасування рідкої продукції й визначений оптимальний за швидкодією закон формування дози ваговим способом. Оптимізація виконана ітераційними методами. Результатами дослідження є функціональні залежності зміни пропускної здатності фасувального пристрою, що забезпечують мінімальну тривалість формування дози та максимальну точність сформованої дози.

Ключові слова: рідка продукція, адаптронний модуль дозування, ітераційний метод, пропускна здатність, вагове дозування, структурна схема, споживча тара, пакувальна машина.

Вступ. Сучасні пакувальні машини-автомати характеризуються значною кількістю показників технічної досконалості. До основних із них відносять: продуктивність, функціональну точність, переналагоджуваність, енерго- та матеріалоефективність. Машини-автомати, що пакують харчову продукцію у споживчу тару, мають забезпечити високу точність формування дози, герметичність упаковки та швидкодію виконання операцій.

Рідка продукція, яка за фізико-механічними характеристиками наближена до ньютонівських рідин, характеризується легкоплинністю, а тому для формування дози з неї широко використовують об'ємні способи (доза формується в мірних ємностях або за рівнем у жорсткій споживчій тарі). Із збільшенням продуктивності пакувальних машин динамічна складова похибки дозування також збільшується. Для забезпечення заданої точності дози продукції в упаковці в дозувальні пристрої встановлюють додаткові датчики, індивідуальні приводи на регулювання положень газових і рідких клапанів. Конструктивні і вартісні показники таких дозувально-фасувальних модулів співрозмірні із модулями, що забезпечують вагове формування дози, але з вищою точністю дозування. Основним недоліком модулів вагового дозування є значна тривалість формування дози і, відповідно, невисока продуктивність.

Проведені дослідження спрямовані на пошук шляхів збільшення продуктивності модулів вагового дозування із забезпеченням високої точності дозування.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Дослідженню операцій формування дози продукції ваговим способом присвячені праці [1, 2]. Об'єктом дозування в цих дослідженнях є сипка продукція. Результатами дослідження встановлено, що на динамічну складову ваги продукції, що сприймається зважувальною системою, суттєво впливає режим потоку живлення та розташування зважувальної ємності. Під час

пакування рідини зважувальною ємністю є споживча тара, яка може мати різну геометричну форму, що буде впливати на забезпечення витратних характеристик фасувальних пристроїв. Для оптимізації за швидкодією операції дозування важливо забезпечити відповідний закон зміни потоку продукції живильником у тару. Вирішити цю задачу можна різними способами: клапанною системою, пневматичною чи запірною арматурою [3]. В існуючих конструкціях функціональних модулів дозування [4—8] широко використовують клапанну систему з індивідуальним приводом на клапані та мікропроцесорною системою керування переміщенням клапана відносно сідла насадки живильника. У функціональних модулях з безклапанною системою живлення реалізувати потрібні режими живлення досить складно. Кожний вид продукції має певні фізико-механічні властивості, що певним чином також впливає на пропускну здатність живильника і систему управління тиском [9]. Моделюванню переміщення рідкої продукції в різних каналах продуктопроводів приділяється значна увага [10], але результатами таких досліджень є силові і кінематичні параметри продукції. На сьогодні ще достатньо широко використовують емпіричні методики [11] визначення кінематичних параметрів руху рідини в різних продуктових каналах, поряд із цим результати досліджень є обмеженими в застосуванні для інших видів рідин і конструкцій продуктопроводів.

У науковій праці [12] досліджуються відомі порційні дозувальні функціональні модулі. Методом контролю вихідного параметра запропоновано значення величини дози в процесі її відмірювання, з подальшим контролем величини дози продукту.

У пропозиції [13] наведені порційні дозувальні модулі, які використовують метод контролю вихідного параметра для визначення величини дози в процесі її відмірювання. Однак ці модулі не забезпечують подальшого контролю величини дози продукції.

Окремі праці [14—16] присвячені розв'язанню задач багатокпотентного дозування. Авторами запропоновано та реалізовано нові схеми автономного безперервного дозування, змішування та пакування різнокомпонентних продуктів у заданому співвідношенні.

Автори праць [17, 18] зазначають, що системи дозування з ваговою апаратурою є більш точні і надійні. Точність дозування розглядається в дослідженні [3], де витрати продукції регулюються пневмоклапанами. В таких системах спостерігається нестабільність характеристики пневмоклапанів під час роботи з малими перепадами тисків. Проаналізовані результати досліджень не дають кінцевих рекомендацій щодо оптимізації за швидкодією операції формування дози рідкої продукції ваговим способом.

Мета дослідження: оптимізація за швидкодією та реалізація операції дозування рідкої продукції у споживчу тару ваговим способом в адаптронних функціональних модулях пакувальних машин.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є адаптронний функціональний модуль дозування рідкої продукції у споживчу тару ваговим способом. Рідка продукція, що дозується, має фізико-механічні властивості, наближені до ньютонівської рідини. Здебільшого, це однокомпонентні, прості рідини (столова негазована вода, очищені та фільтровані соки, лікєро-горілочані напої, розчини кислот). Основними фізико-механічними характеристиками цих рідин є: об'ємна маса, коефіцієнт динамічної в'язкості. Під час дозування підтримується ізотермічний процес.

Дослідження проведено теоретичними методами моделювання із застосуванням основних рівнянь гідродинаміки та числових методів розв'язку нелінійних рівнянь.

За метод оптимізації прийнято метод ітерації.

Результати досліджень та їх обговорення. На рис. 1 наведено синтезовану структурну схему адаптронного функціонального модуля дозування рідкої продукції у споживчу тару ваговим способом.

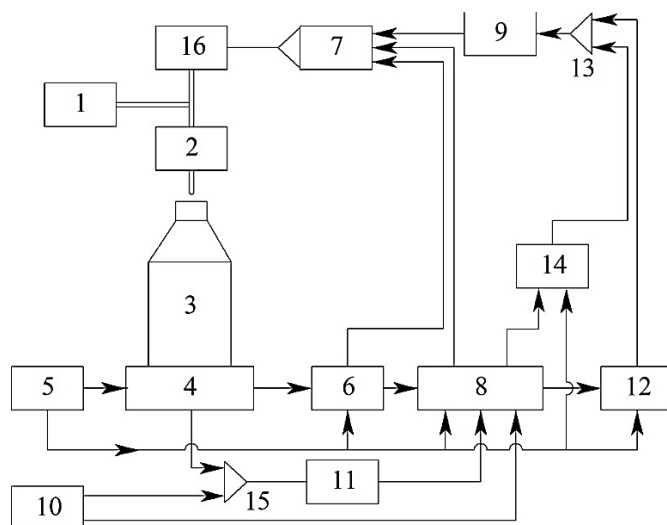


Рис. 1. Структурна схема адаптронного модуля дозування рідкої продукції ваговим способом: 1 — елемент подачі продукції; 2 — клапанний живильник; 3 — споживча тара; 4 — елемент зважування; 5 — таймер; 6 — датчик визначення миттєвої швидкості потоку; 7 — контролер; 8 — пристрій визначення загальної ваги; 9 — датчик контролю заданого значення швидкості потоку продукції; 10 — еталон ваги; 11 — пристрій контролю залишкової ваги; 12 — пристрій визначення середньої швидкості потоку продукції; 13 — компаратор; 14 — пристрій визначення середньої швидкості потоку продукції; 15 — компаратор; 16 — привід клапана живильника

Схемою передбачена можливість подачі продукції як із витратного резервуару, так і поточним способом через елемент подачі 1. У будь-якому випадку елемент подачі 1 з'єднаний з клапаном 2, який забезпечує потрібну пропускну здатність живильника. Здебільшого зміна пропускну здатності живильника здійснюється шляхом вертикального переміщення клапана за допомогою сенсорного привода 16. Під насадкою фасувального пристрою розташовується споживча тара (пляшка) 3. Тара встановлюється на елемент зважування 4, який здебільшого виконано на тензометричних датчиках. Вид і параметри клапана надають можливість, залежно від динамічної в'язкості продукту, змінювати ефективну площу поперечного перерізу каналу живлення. Поточне положення клапана живильника залежить від стадії формування дози (грубе або точне дозування), об'ємної маси продукції, її в'язкості та надлишкового тиску продукції в каналі її подачі. Модуль включає також таймер 5 для забезпечення загальної тимчасової бази відліку для різних елементів, що реалізують процес дозування і фасування. Для повного контролю процесом дозування елемент зважування 4 з'єднаний з датчиком 6 для вимірювання миттєвої швидкості потоку продукції в живильнику, причому цей датчик з'єднаний з контролером 7 і з пристроєм визначення загальної ваги продукції 8. Так, для вимірювання значень миттєвих витрат сигнал від елемента зважування 4 передається з постійним інтервалом часу (одна тисячна частка

секунди). Отримане миттєве значення швидкості потоку спочатку передається до контролера 7, який керує приводом 16 та положенням клапана 2, а потім до пристрою визначення загальної ваги 8 (продукція з тарою).

Контролер 7 також сприймає значення швидкості потоку 9, з яким порівнюються виміряні миттєві витрати для коригування положення клапана 2.

Крім цього, пристрій визначення загальної ваги продукції 8 приймає сигнал від еталона ваги 10 і сигнал визначення ваги доданої продукції 11. Пристрій 8 порівнює визначену вагу нетто продукції з показниками сигналів 10 та 11 і формує сигнал контролера 7 для зменшення або зупинки потоку у випадку, коли ці два значення будуть рівними. Елемент зважування 8 подає сигнал пристрою 12 для визначення середньої швидкості витрат потоку продукції, після чого сигнал регулювання передається на компаратор 13, який також сприймає відносну середню швидкість витрат потоку продукції від пристрою 14.

Реальна вага продукції (нетто) визначається шляхом віднімання ваги тари від загальної ваги. Сигнал, що відповідає чистій вазі продукції, надходить до компаратора 15, який порівнює реальну вагу продукції з еталонним значенням 10. Процес зважування включає як статичну, так і динамічну складові руху продукції. Для врахування впливу динамічної складової на точність формування дози потрібно виконати ряд теоретичних досліджень щодо конструкції живильника та зміни ефективної площі поперечного каналу насадки.

Традиційно потоковий ваговий спосіб формування дози продукції виконується в два етапи — формування основної частини дози (груба доза в межах 70—80% від ваги дози) і формування кінцевого значення величини дози (точне дозування) при невеликій інтенсивності подачі продукції у споживчу тару. Зазвичай, другий етап триває 2/3 або 3/4 часу дозування залежно від реологічних властивостей рідкої продукції, що суттєво збільшує тривалість дозування і зменшує продуктивність фасувально-дозувального модуля.

Зменшити тривалість формування дози можна за рахунок зміни інтенсивності подачі продукції залежно від її кількості у споживчій тарі. Реалізація такої задачі можлива за умови активного регулювання положення робочого органа живильника та швидкості переміщення потоку продукції.

Відносно розташування робочого органа живильника впливає на значення ефективної площі потоку продукції. Для визначення закону зміни положення робочого органа живильника потрібно знайти оптимальний за швидкодією закон зміни пропускної здатності насадки живильника.

Одним із способів вирішення цієї задачі є застосування ітераційного методу регулювання пропускної здатності живильника, кінцевим результатом якого є одержання ваги продукції, що відповідає заданій величині дози з допустимою точністю (рис. 2).

Для реалізації ефективного, безступеневого способу формування дози рідкої продукції потрібно виконати ряд теоретичних досліджень із визначення зміни пропускної здатності насадки фасувального пристрою.

На першому етапі дослідження приймаємо: структурно-механічні властивості рідини відповідають ньютонівській рідині; переміщення рідини є ламінарним стаціонарним; процес ізотермічний; рух рідини відповідає закону неперервності потоку; тара має циліндричну форму; під дією статичних і динамічних навантажень не деформується.

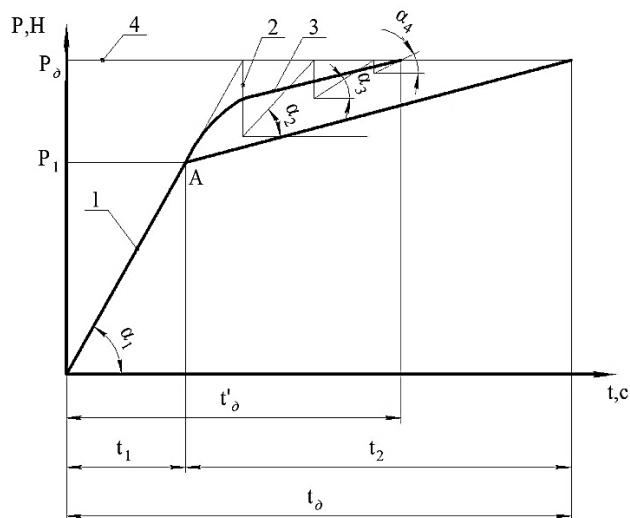


Рис. 2. Схема ітераційного методу пошуку оптимального за швидкістю закону формування дози рідкої продукції в адаптронних модулях пакувальних машин: 1 — двоетапний процес; 2 — ітераційний метод; 3 — функція оптимального дозування; 4 — обмеження по вазі заданої дози продукції

Величина дози визначається зусиллям, яке сприймає зважувальна система при дії ваги тари та продукції, що перемістилася в тару, за час t_i та імпульс сил від потоку продукції. Більшість зважувальних систем обнулюють вагу тари, тому в дослідженнях будемо розглядати нетто продукцію (рис. 3).

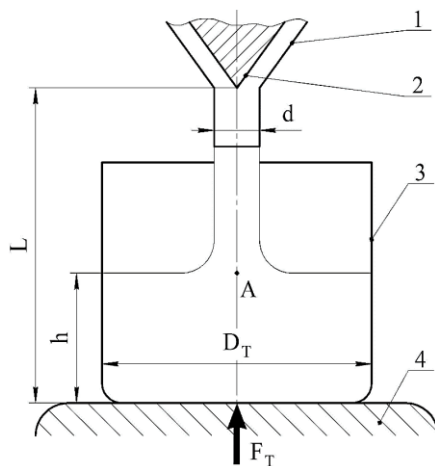


Рис. 3. Схема формування дози продукції в тарі циліндричної форми: 1 — фасувальний пристрій; 2 — клапан; 3 — споживча тара; 4 — зважувальний елемент

Сумарне динамічне навантаження, що сприймає зважувальна система, визначається:

$$F_T = W_i \cdot \rho \cdot g + F_\theta, \quad (1)$$

W_i — поточне значення об'єму продукції, що перемістилася в тару за час t_i ,

$0 \leq W_i \leq W_{30}$; W_{30} — об'єм продукції, що відповідає величині дози $W_{30} = \frac{m_0}{\rho}$; ρ —

об'ємна маса рідкої продукції, при ізотермічному процесі можна приймати $\rho = const$; g — гравітаційне прискорення при вільному переміщенні тіла; F_0 — імпульс сил, діє від переміщення потоку продукції.

Поточне значення об'єму продукції, що перемістилася за період фасування t_i , можна визначити:

$$W_i = Q_i \cdot t_i \quad \text{або} \quad W_i = \frac{\pi D_T^2}{4} \cdot h \cdot t_i, \quad (2)$$

де Q_i — пропускна здатність насадки фасувального пристрою,

$$Q_i = f_{ef} \cdot v_i; \quad (3)$$

f_{ef} — ефективна площа поперечного перерізу продуктопроводу фасувального пристрою, зміна якої залежить від форми і положення відносно сідла клапана; v_i — швидкість переміщення продукції в живому перерізі каналу насадки, визначається залежно від тиску продукції та конфігурації каналу; D_T — внутрішній діаметр споживчої тари; h — поточне значення висоти рідини в тарі в момент часу t_i :

$$h_i = \frac{4Q_i \cdot t_i}{\pi D_T^2}. \quad (4)$$

Прийнявши припущення, що рідина переміщається неперервним потоком без турбулентності, імпульс сил F_0 визначається:

$$F_0 = m_i \cdot v_A = Q_i \cdot \rho \cdot v_A, \quad (5)$$

де m_i — масова пропускна здатність насадки фасувального пристрою; v_A — швидкість переміщення продукції в точці А на поверхні рідини, що перемістилася в тару за t_i ,

$$v_A = v_i + \lambda \sqrt{2g(L-h)}, \quad (6)$$

де λ — гідравлічний опір переміщення продукції в насадці фасувального пристрою; L — висота розташування насадки фасувального пристрою.

Після підстановки формул (2—6) у вираз (1) одержимо залежність зусилля, що сприймає зважувальний елемент від зміни ефективної площі поперечного перерізу насадки фасувального пристрою:

$$F_{Ti} = f_{ef_i} \cdot v_i \cdot \rho \left[g \cdot t_i + v_i + \lambda \sqrt{2g \left(L - \frac{4 \cdot f_{ef_i} \cdot v_i \cdot t_i}{\pi D_T^2} \right)} \right]. \quad (7)$$

Кінцеве значення F_{Ti} має відповідати вазі дози продукції, тобто

$$F_{T30} = W_{30} \cdot \rho \cdot g. \quad (8)$$

Розв'язавши разом рівняння (7) та (8) при заданій зміні f_{ef_i} , можна знайти тривалість дозування.

Для вирішення цих нелінійних рівнянь важливо знати зміну f_{ef_i} при мінімальній похибці дозування. Одним із методів пошуку є ітерація значення F_T до тих пір, коли виконається умова (8).

У харчовій промисловості для пакування рідкої продукції широко використовують

пляшки, виготовлені з різних пакувальних матеріалів. Пляшки, здебільшого, це поєднання циліндро-конічної форми. В основному в конічній частині пляшки здійснюється формування точної дози, тому можна прийняти, що заповнення циліндричної частини виконується при максимально можливій пропускній здатності насадки фасувального пристрою. За таких умов сумарне навантаження на зважувальний елемент дозувального модуля буде (рис. 4):

$$F_{Ti} = W_{1i} \cdot \rho \cdot g + W_{2i} \cdot \rho \cdot g + F_{\delta}, \quad (9)$$

де W_{2i} — об'єм продукції, що знаходиться в конічній частині пляшки в період t_i .

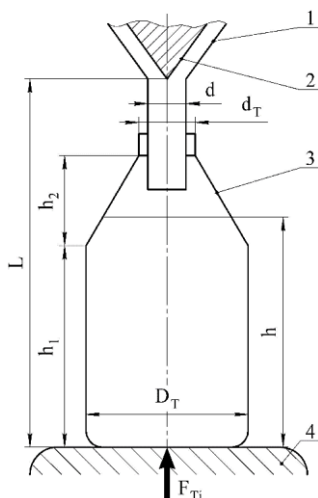


Рис. 4. Схема формування дози продуктів пляшки циліндро-конічної форми: 1 — насадка фасувального пристрою; 2 — клапан; 3 — пляшка; 4 — зважувальний елемент

Якщо врахувати, що точне формування дози продукції буде формуватися в конічній частині пляшки, то

$$W_1 = \frac{\pi D_T^2}{4} \cdot h_1 = Q_{\max} \cdot t_1 = f_{\text{еф max}} \cdot v_0 \cdot t_1, \quad (10)$$

де Q_{\max} — максимальна пропускна здатність фасувального пристрою; $f_{\text{еф max}}$ — максимальне значення ефективної площі поперечного каналу насадки фасувального пристрою, визначається з урахуванням геометричних розмірів горловини пляшки; v_0 — максимально допустиме значення швидкості переміщення рідкої продукції в каналі насадки фасувального пристрою, приймається з урахуванням забезпечення ламінарного режиму потоку і тиску продукції в системі подачі; t_1 — тривалість наповнення циліндричної частини пляшки визначається:

$$t_1 = \frac{4 \cdot f_{\text{еф max}} \cdot v_0}{\pi D_T^2 \cdot h_1}. \quad (11)$$

Об'єм продукції, що поступить в конічну частину пляшки за t_i , можна визначити:

$$W_{2i} = Q_{2i} \cdot (t_i - t_1) = f_{\text{еф}i} \cdot v_i (t_i - t_1). \quad (12)$$

Імпульс сил в точці А поверхні рідини в пляшці визначається:

$$F_{\delta} = Q_{2i} \cdot \rho \left[v_i + \lambda \sqrt{2g(L-h)} \right] = f_{\text{еф}i} \cdot v_i \cdot \rho \left[v_i + \lambda \sqrt{2g(L-h)} \right]. \quad (13)$$

Поточне значення рівня рідини в пляшці визначимо з урахуванням:

$$W_{2i} = \frac{1}{12} \pi (h - h_1) (D_T^2 + D_T \cdot d_T + d_T^2);$$

$$h = \frac{12 \cdot f_{efi} \cdot v_i \cdot (t_i - t_1)}{\pi (D_T^2 + D_T \cdot d_T + d_T^2)} + h_1. \quad (14)$$

Після підстановки виразів (10—14) у формулу (9) одержимо:

$$F_{Ti} = f_{efmax} \cdot v_0 \cdot t_1 \cdot \rho \cdot g + f_{efi} \cdot v_i \cdot \rho \cdot g (t_i - t_1) +$$

$$+ f_{efi} \cdot v_i \cdot \rho \left(v_i + \lambda \sqrt{2g \left[L - \frac{12 f_{efi} \cdot v_i (t_i - t_1)}{\pi (D_T^2 + D_T \cdot d_T + d_T^2)} + h_1 \right]} \right) \quad (15)$$

При заданих значеннях f_{ef} та v_i або їх функціональної зміни в часі, розв'язавши нелінійне рівняння (15), можна визначити тривалість як кожного етапу, так і фасування загалом.

Для знаходження оптимального закону зміни пропускної здатності насадки, що забезпечує мінімальну тривалість фасування та максимальну точність формування дози, виконаємо кількості етапну ітерацію зі зміною пропускної здатності насадки та порівняємо одержане вагове зусилля на зважувальному елементі з вагою дози.

Розрахунки виконаємо за таких вихідних даних (фасування питної води в пляшку місткістю 1 л (0,001 м³)): $v_0 = 1$ м/с; $D_m = 0,8$ м; $d_m = 0,02$ м; $h_1 = 0,170$ м; $h_2 = 0,080$ м; $\rho = 1036$ кг/м³; $Q_{max} = 3,14 \cdot 10^{-4}$ м³/с; $Q_1 = 1,77 \cdot 10^{-4}$ м³/с; $Q_2 = 7,85 \cdot 10^{-5}$ м³/с; $Q_3 = 1,96 \cdot 10^{-5}$ м³/с.

Результати розрахунків наведено у вигляді графіків (рис. 5).

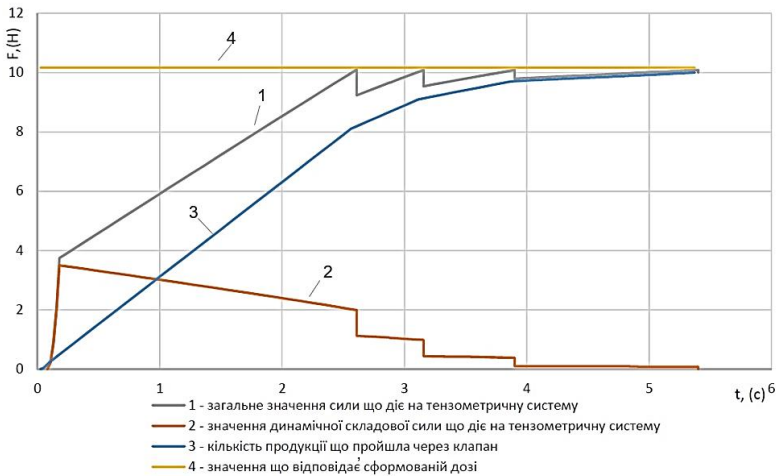


Рис. 5. Зміна складових зусилля, що сприймає зважувальний елемент

З рис. 5 виділимо залежність, що характеризує подачу рідини в тару та за допомогою комп'ютерної програми Curve Expert v 1.3 апроксимуємо її функцією у вигляді (рис. 6):

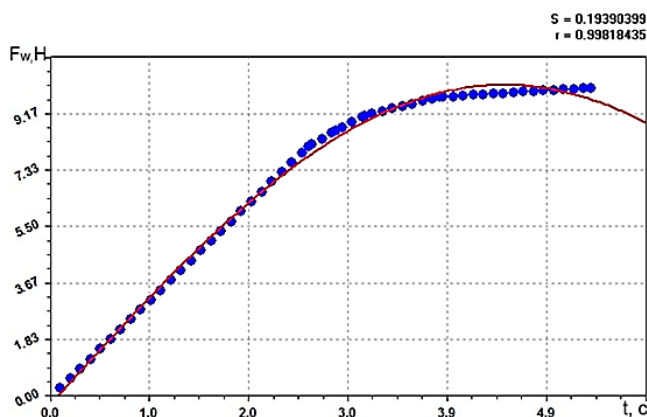


Рис. 6. Зміна зусилля на зважувальний елемент від продукції, що поступає в тару

$$F_w = a + b \cdot \cos(ct + d), \quad (16)$$

де a, b, c, d — апроксимаційні коефіцієнти. Для прийнятих вихідних даних апроксимаційна залежність має вигляд:

$$F_w(t) = 0,0825 + 10,0940 \cdot \cos(0,3559t - 1,6033). \quad (17)$$

Коефіцієнт детермінації для цієї функції складає 0,97.

Одержана функціональна залежність (17) не дає інформації щодо зміни положення клапана фасувального пристрою. Для знаходження миттєвого приросту надходження рідини в пляшку виконаємо диференціювання функції (17):

$$\frac{dF_w(t)}{dt} = -3,5925 \cdot \sin(0,3559t - 1,6033). \quad (18)$$

Миттєвий приріст поступлення рідини в пляшку залежить від ефективної площі поперечного перерізу насадки. На f_{ef} впливає геометрія клапана та його положення відносно сідла насадки. Для одержання функціональної залежності $f_{ef} = f(h_k)$ потрібно виконати аналіз існуючих конструкцій клапанів.

При ваговому способі формування дози продукції на її точність суттєво впливає реалізація раціональної функціональної залежності $Q_i(t)$ та геометричні параметри насадки фасувального пристрою. Абсолютну похибку дозування визначимо:

$$\Delta m = Q_i \cdot \rho \left(v_i + \lambda \sqrt{2g(L-h)} \right) - (L-h) f_{ef} \cdot \rho$$

або

$$\Delta m = f_{ef} \cdot v_i \cdot \rho \cdot \left(v_i + \lambda \sqrt{2g(L-h)} \right) - (L-h) f_{ef} \cdot \rho. \quad (19)$$

Відповідно відносна похибка дорівнює:

$$\delta_m = \frac{\Delta m}{M_{zd}} \cdot 100 = \frac{f_{ef} \cdot v_i \cdot \rho \cdot \left(v_i + \lambda \sqrt{2g(L-h)} \right) - (L-h) f_{ef} \cdot \rho}{W_{zd} \cdot \rho} \cdot 100. \quad (20)$$

Висновки. Встановлено, що основним чинником, який суттєво впливає на тривалість формування дози рідкої продукції у споживчій тарі ваговим способом при безперервній подачі продукції, є динамічна складова зважування. Для зменшення впливу динамічної складової точності дозування та зменшення тривалості операції потрібно

визначити оптимальний за швидкодією закон зміни пропускної здатності живильника.

1. Одним з ефективних способів оптимізації пропускної здатності живильника є ітераційний. За цим способом, змінюючи пропускну здатність живильника n -кількість разів, можна наблизитись до його оптимального виразу.

2. Результатом проведених досліджень встановлено функціональні залежності, які надають можливість реалізувати оптимальний за швидкодією закон формування дози.

3. Для реалізації оптимального за швидкодією закону формування дози потрібно для конкретної конструкції живильника визначити зміну ефективної площі поперечного перерізу каналу насадки та закон руху веденої ланки елемента подачі рідини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Масло, М. А. (2014). Вдосконалення вагових дозаторів. *Упаковка*, 28, 32—36.
2. Derenivska, A. et al. (2014). Optimization of transportation of bulk solids food products in the linear weight feeder of packing machine. *Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies*, 3, 20—23.
3. Gavva, O., Kryvoplias-Volodina, L., Tokarchuk, S. et al. (2021). Synthesis of precision dosing system for liquid products based on electropneumatic complexes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(2(114)), 125—135. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247187>.
4. Гавва, О. О., Кривопляс-Володіна, Л. О. (2023). Обґрунтування режимів роботи адаптронних функціональних модулів дозування рідкої продукції ваговим способом. *Наукові праці НУХТ*, 29(5), 66—76. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2023-29-5-7>.
5. Patent US 7661651B2 Apparatus for controlling medium flow / Harri Khonholm Priority date 2005-04-29: Publication date 2005-11-03.
6. Patent US 8312902B2 Filling head with low Reynolds number / Antonio Mengifav Riva; Priority date 2006-01-20: Publication date 2009-12-10.
7. Patent US 8109416B2 Variable flow vable of a filling machine / Alexandre Morand; Priority date 2007-02-19: Publication date 2007-08-30.
8. Patent US 7963305B2 Filling valve having a three-position valve rod / Andrea Lupi, Fabrizio Vaia; Priority date 2005-07-28: Publication date 2007-02-15.
9. Singh, A., Asjad, M., Singh, Y. V., Alam, S. (2023). Machine Configuration Based on Machine Reliability and Production Rate Criteria Through Line Balancing Algorithm in Reconfigurable Manufacturing System (RMS). Recent Advances in Intelligent Manufacturing. ICAME 2022. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Singapore, 157—175. https://doi.org/10.1007/978-981-99-1308-4_14.
10. Adedeji, B. Badiru, Olufemi, A. Omitaomu. (2023). *Systems 4.0; Systems Foundations for Industry 4.0 (1st Edition)* CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003312277>.
11. Bauer, E. (2016). *Pharmaceutical Packaging Handbook*. CRC Press. <https://doi.org/10.3109/9781420012736>.
12. Yakovlev, V. S., Legonkova, Sukhareva L. A. (2008). *Polymers for Packaging and Containers in Food Industry*. CRC Press. doi:<https://doi.org/10.1201/b12240>.
13. Vazquez-Santacruz, J. A. et al. (2023). Towards an integrated design methodology for mechatronic systems. *Research in Engineering Design*. 4. <https://doi.org/10.1007/s00163-023-00416-4>.
14. Takase, T. et al. (2022). Evaluating the safety and efficiency of robotic dispensing systems. *Journal of Pharmaceutical Health Care and Sciences*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40780-022-00255-w>.
15. Lu, S. et al. (2019). Simulation and Experiment on Droplet Volume for the Needle-Type Piezoelectric Jetting Dispenser. *Micromachines*, 10(9), 623. <https://doi.org/10.3390/mi10090623>.
16. Vavrik, V. et al. (2022). Designing of Machine Backups in Reconfigurable Manufacturing Systems. *Applied Sciences*, 12(5), 2338. <https://doi.org/10.3390/app12052338>.
17. Yousaf, B. et al. (2021). Numerical and experimental analysis of the cavitation and study of flow characteristics in ball valve. *Nonlinear Engineering*, 10(1), 535—545. <https://doi.org/10.1515/nleng-2021-0044>.
18. Furmann, R., Furmannová, B., Więcek, D. (2017). Interactive Design of Reconfigurable Logistics Systems. *Procedia Engineering*, 192, 207—212. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.036>.

УДК 622.73:602

EFFECT OF WORKING ELEMENTS' ROTATION SPEED OF BEAD MILL ON KINETICS OF YEAST CELL DESTRUCTION

K. Omelianenko, O. Gubenia*National University of Food Technologies***Key words:**

yeast,
destruction,
bead mill,
kinetics,
dynamics

Article history:

Received 25.08.2025

Received in revised form
02.09.2025

Accepted 03.09.2025

Corresponding author:Omelianenkostantin17@
gmail.com**ABSTRACT**

The aim of research is to determine the effect of the rotation speed of the bead mill working elements on the kinetics of destruction of yeast cells *Saccharomyces cerevisiae*.

The research was conducted on a bead mill with disk-type working elements with a rotation speed of 600, 1500 and 2400 rpm. The number of dead stained cells was determined by staining with methylene blue. Cells whose contents were released into the environment were considered as disrupted.

At the beginning of processing in a bead mill, an increase in the proportion of whole stained cells in the yeast suspension is observed to 10% at 1500 rpm and to 28% at 600 rpm. This increase is explained by the lower intensity of mechanical impact and slower release of cell contents, which allows the cells to temporarily retain the dye. Further processing leads to complete destruction of cells and a decrease in the proportion of stained cells to zero. Instead, at 2400 rpm, the stained cells are rapidly disrupted from the beginning of treatment, and their number decreases to 2% without prior increase.

With an increase in the rotation frequency of the bead mill disks from 600 to 2400 rpm, the time for complete desruption of cells and the release of their contents is reduced from 45 to 6 minutes. Further processing of the suspension leads only to chaotic fragmentation of cell walls, so continuing the process is irrational.

The rotation frequency of the working elements below 1500 rpm doesn't provide sufficient intensity of cell disruption, so its use is not recommended.

The obtained graphical dependences of the number of disrupted cells are described by polynomial dependencies of the third order. The rate of cell destruction is described by a second-order equation, which is typical for mechanical methods of cell disruption.

Increasing the rate of cell disruption is possible by using beads of smaller diameter in combination with special designs of disk-type working elements, in particular, with curvilinear gap, or using turbine-type working bodies.

Therefore, the rotation speed of the bead mills working elements significantly affects the kinetics of the disruption process. The results obtained may be useful in determining the optimal operating parameters of bead mills.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-23

ВПЛИВ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ БІСЕРНОГО МЛИНА НА КІНЕТИКУ РУЙНУВАННЯ КЛІТИН ДРІЖДЖІВ

К. А. Омеляненко, аспірант, ORCID-ID: 0009-0007-7142-5056

О. О. Губеня, канд. техн. наук, ORCID-ID: 0000-0003-2773-4373

Національний університет харчових технологій

Мета — визначити вплив частоти обертання робочих органів бісерного млина на кінетику руйнування клітин дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*. Дослідження проведено на бісерному млині з робочими органами дискового типу з частотою обертання 600, 1500 і 2400 об/хв. При цих значеннях частоти обертання час оброблення, при якому вміст клітини повністю вивільнився у навколишнє середовище, становив відповідно 45, 10 і 6 хвилин. Подальше оброблення суспензії є нераціональним. Криві залежності кількості зруйнованих клітин від часу оброблення описуються поліномами третього порядку, відповідно, швидкість руйнування клітин характеризується законом другого порядку, що характерно для механічних методів руйнування.

Ключові слова: дріжджі, руйнування, бісерний млин, кінетика, динаміка.

Вступ. У промислових масштабах клітини мікроорганізмів руйнуються в основному на бісерних млинах і гомогенізацією під високим тиском [1]. Для руйнування клітин бактерій переважно використовують гомогенізатори високого тиску. Для руйнування одноклітинних водоростей застосовують як бісерні млини, так і гомогенізатори високого тиску. Для руйнування міцеліальних клітин плісневих грибів і клітин дріжджів, які мають міцніші клітинні стінки порівняно з клітинними стінками бактерій, доцільно використовувати оброблення їх суспензій у бісерних млинах [2, 5, 22].

У літературних джерелах недостатньо даних щодо впливу частоти обертання робочих органів на швидкість процесу руйнування. Наявні дані, зазвичай, не враховують вивільнення вмісту зруйнованих клітин у бісерних млинах під дією відцентрових сил. Вибір методів оцінки зруйнованості часто необґрунтований і потребує удосконалення.

Проведено дослідження швидкості руйнування клітин дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* у бісерному млині. Вибір дріжджів як об'єкта досліджень обґрунтований тим, що вони є простими і культивуванні мікроорганізмами, легко піддаються обробленню в бісерних млинах [4—6]; крім того, їх рідкий вміст містить ферменти, білки, вуглеводи, тоді як клітинні стінки складаються переважно зі структурних полісахаридів, зокрема β -глюкану [5, 14, 20, 28]. Порушення цілісності клітин під час оброблення в бісерних млинах дозволяє вивільнити ці біологічно активні сполуки, що робить дріжджі перспективними для біотехнологічних застосувань, таких як виробництво біопалива, протеїнів, полісахаридів та інших біоактивних компонентів.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Режими руйнування клітин різних мікроорганізмів у бісерних млинах представлено у табл. 1.

Діаметр бісеру складає 0,1—1,5 мм, найчастіше — 0,4—0,6 мм. Використання менших і більших діаметрів бісеру можливе, проте ускладнене на звичайних бісерних млинах з пальцевими і дисковими робочими органами [31]. Швидкість обертання робочих органів бісерного млина, згідно з аналізом даних, складає 1500—2800 об/хв.

Потребує додаткових досліджень визначення впливу частоти обертання ротора бісерного млина на динаміку руйнування клітин з урахуванням геометричних параметрів робочої камери та органів бісерного млина.

Таблиця 1. Режими руйнування клітин мікроорганізмів у бісерних млинах

Мікроорганізм	Режими оброблення у бісерному млині	Джерело
Міцеліальні гриби та дріжджі		
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	n — 2000—6000 об/хв; τ — до 3 хв; d — 0,38—0,88 мм	20
	V — 1 л; D — 80 мм; d — 1 мм; n — 262 рад/с	14
	V — 0,51 л; n — 1250, 1900, 2550 об/хв; C — до 70% (об/об); τ — 70 с	28
<i>Saccharomyces carlsbergensis</i>	Центрифуга лабораторна, заповнена бісером	6
<i>Aspergillus flavus</i>	w — 2,1—6,0 м/с; τ — 6 циклів по 20 с; матеріал бісеру — скло; d — 0,5 мм	17
<i>Mortierella isabellina</i>	d — 0,4 мм; n — 2800 об/хв; C_s — 25 г/л; τ — 5 хв	24
Одноклітинні водорості		
<i>Chlorella vulgaris</i>	Бісерний млин DYNO®-MILL, d — 0,4—0,6 мм; V — 0,6 л; n — 2000 об/хв; C_s — 6% (w/w); швидкість рециркуляції суспензії — 1,5 л/хв	13
	d — 0,3—1,7 мм; C — 80—90%	24
	d — 0,4 мм; n — 2039 об/хв; C_s — 25 г/л; τ — 10 хв	1
	d — 0,1 мм; n — 2800 об/хв; C_s — 0,5 г/л; τ — 5 хв	24
	d — 1,0—1,6 мм; n — 2500 об/хв; τ — 1—30 хв	26
	C_s — 25—145 г/кг; w — 6—12 м/с; τ — 3 хв	22
<i>Scenedesmus</i> sp.	d — 0,1 мм; n — 2800 об/хв; C_s — 0,5 г/л; τ — 5 хв	18
<i>Botryococcus</i> sp.	d — 0,1 мм; n — 2800 об/хв; C_s — 0,5 г/л; τ — 5 хв	18
<i>Phaeodactylum tricorutum</i>	n — 2000 об/хв; τ — 10 хв; C_s — 100 мг/л	24
<i>Tetradesmus dimorphus</i>	Матеріал бісеру — боросилікат; d — 0,1 мм; C_s — 40 г/л; τ — 5 хв	18
<i>Tetraselmis suecica</i>	d — 0,4 мм; n — 2040 об/хв; C_s — 100 г/л; τ — 30 хв	27
<i>Nannochloropsis gaditana</i>	Матеріал бісеру — цирконій; d — 0,4 мм; w — 10 м/с; C_s — 10 г/кг	23

Примітка: позначення в таблиці: n — частота обертання ротора; d — діаметр бісеру; C — концентрація бісеру; C_s — концентрація сухої клітинної маси; τ — тривалість оброблення; w — колова швидкість ротора; V — об'єм робочої камери; D — діаметр робочої камери; k — кількість проходів

Звернемо увагу, що відсутній опис експрес-методів визначення зруйнованості клітин. Деякі дослідники оцінюють зруйнованість за показниками виходу цільових компонентів клітини, наприклад, білків [24]. Ці методи потребують значних затрат часу та ресурсів ті накладають ряд обмежень на досягнення мети наших досліджень.

Мета досліджень: визначити вплив частоти обертання робочих органів бісерного млина на кінетику руйнування клітин дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*.

Матеріали і методи. Досліджувані мікроорганізми. Руйнування клітин мікроорганізмів досліджено на прикладі дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* [30]. Використані дріжджі пресовані «Львівські дріжджі активні» (ТУ У 10.8-00383320-001; ISO 14001), виробник — ПрАТ «Компанія Ензим».

Підготовка зразків. 1. Порції компонентів суспензії: дріжджі пресовані — 40 г; вода питна (22—24 °С) — 160 мл. 2. Підготовка суспензії. Дріжджі змішують з водою за допомогою лабораторної палички до утворення однорідної рідкої маси без грудочок. Отримана суспензія перед обробленням у бісерному млині витримувалася 20 хв.

Опис експериментального стенду. Дослідження проведені на експериментальному стенді на основі бісерного млина вертикального типу [30], система керування яким включає перетворювач частоти. Зміна частоти обертання ротора з робочими органами змінювалася від 600 до 2400 об/хв.

Розміри елементів робочої камери (рис. 1) та робочих органів: діаметр камери — 60 мм, діаметр дисків — 55 мм, кількість дисків — 4, відстань між дисками — 24 мм. Тип дисків — плоскі, з чотирма отворами для вільного руху суспензії з бісером. Робоча камера оснащена охолоджувальною сорочкою.

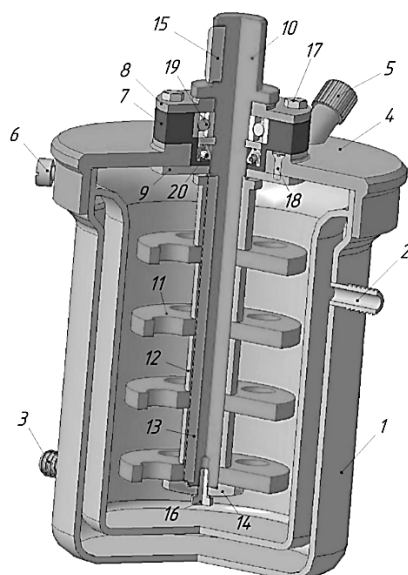


Рис. 1. Робоча камера бісерного млина з дисковими робочими органами: 1 — стакан; 2, 3 — патрубки для охолоджувальної рідини; 4 — кришка; 5 — пробовідбірник; 6 — фіксатор кришки; 7 — підшипниковий вузол; 8 — кришка; 9 — шайба; 10 — вал; 11 — диск; 12 — втулка; 13 — шпонка; 14 — шайба; 15 — шпонка; 16—18 — гвинти; 19 — підшипник

Мікроскопія. Визначення ступеня зруйнованості дріжджових клітин проводили за допомогою біологічного світлового мікроскопа зі збільшенням $\times 400$, оснащеного веб-камерою для виведення зображення на монітор ПК. Зразок суспензії наносили на предметне скло за допомогою інокуляційної петлі, додавали краплю метиленового синього барвника і накривали покривним скельцем. Зображення спостерігали як візуально, так і через веб-камеру, що дозволяло детально аналізувати структуру клітин і зберігати зображення для подальшого дослідження.

Визначення зруйнованості клітин. Зруйнованість клітин визначаємо за аналізом мікроскопних зображень. Для зразків визначаємо:

- загальну кількість клітин на зображенні;
- кількість цілих зафарбованих клітин;

- кількість зруйнованих «пустих» клітин, вміст яких вивільнився у навколишнє середовище;

- наявність фрагментів клітинних стінок.

Цілісність клітини визначаємо візуально за такими характеристиками [16]:

1. *Клітини живі.* Клітини правильної, злегка овальної форми з чітко видимою стінкою і брунькою. Фон середовища і клітин — світло-блакитний, рівномірний (рис. 2, а).

2. *Цілісні зафарбовані клітини.* Частина клітин набуває темно-синього забарвлення внаслідок порушення клітинної стінки та вільного проникнення метиленого синього (рис. 2, б). Зазвичай, цей етап оброблення на бісерному млині проходить миттєво і його складно зафіксувати.

3. *Клітини зруйновані, «пусті», їх вміст вивільнений у навколишнє середовище.* Відбувається руйнування клітинної стінки, що супроводжується вивільненням її вмісту в навколишнє середовище. Тому клітини знебарвлюються, а позитивно заряджений метиленовий синій притягується до частинок, що несуть негативний заряд, таких як ДНК, РНК, поліфосфати, внаслідок чого навколишнє середовище стає нерівномірно блакитним (рис. 2, с). Утворюються скупчення клітин та окремі зафарбовані зони.

4. *Зруйнована клітинна структура, наявність фрагментів клітинних стінок.* Відсутні цілісні клітини, спостерігаються фрагменти клітинних стінок у однорідній рідині (рис. 2, д).

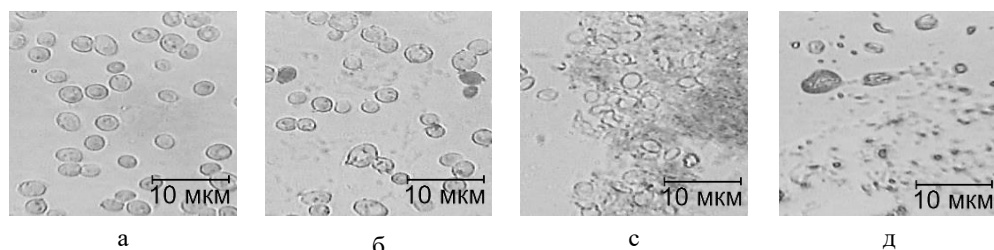


Рис. 2. Визначення цілісності клітин

Застосовано програмний пакет CellProfiler для багатопараметричного аналізу клітинних зображень, який забезпечує автоматизоване виявлення, сегментацію та кількісну характеристику біологічних об'єктів на мікрофотографіях. Для перевірки адекватності сегментації виконуємо пробний тест на одному або декількох зображеннях цілих клітин необробленої суспензії дріжджів. При необхідності коректуються налаштування програми. Дані експортуються для статистичного аналізу у програмному пакеті Excel.

Статистичний аналіз. Під час мікроскопічних досліджень проводили чотири паралельних експерименти для кожного відбирання проб. За отриманими даними будували графічні залежності та визначали функцію, яка найкраще їх описує. Розрахунок коефіцієнтів функцій виконували в програмному пакеті Excel, використовуючи метод найменших квадратів. Серед декількох видів апроксимації оптимальною визнавали ту, для якої коефіцієнт детермінації (R^2) найближчий до одиниці.

Результати і обговорення. Зразки мікроскопічних зображень суспензії клітин дріжджів після оброблення в бісерному млині представлені на рис. 3.

Початкова кількість цілісних зафарбованих клітин у суспензії складала 2,5—3,3%.

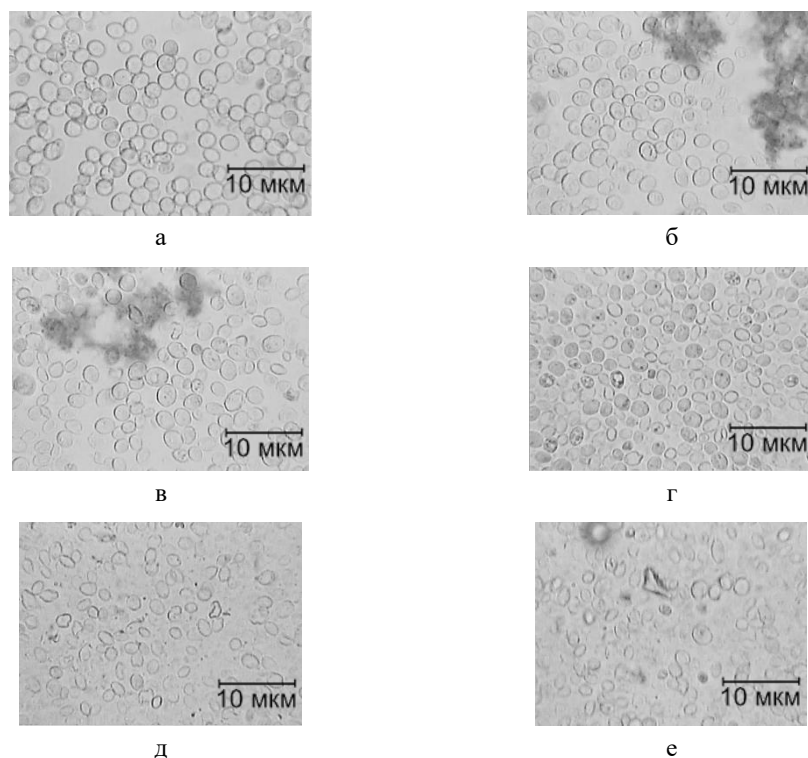


Рис. 3. Зразки мікроскопічних зображень суспензії клітин дріжджів: а — початкова суспензія, всі клітини цілі; б, в, г — частина клітин мертві і зруйновані; д, е — всі клітини зруйновані

Під час оброблення у млині їх кількість спочатку зростає до 10% при частоті обертання робочих органів 1500 об/хв і до 28% — при 600 об/хв, а далі — спадає до нуля. При частоті обертання робочих органів 2400 об/хв кількість цілісних зафарбованих клітин протягом часу оброблення спадала до 2%. Більша кількість цілісних зафарбованих клітин при низькій частоті обертання робочих органів пояснюється меншою відцентровою силою і довшим часом вивільнення вмісту клітини в навколишнє середовище.

Спостерігалася значна розбіжність кількості цілісних зафарбованих клітин у паралельних дослідженнях і під час усього експерименту. Це пояснюється тим, що в бісерному млині на оброблювальний продукт діють значні відцентрові сили. Відповідно, вміст зруйнованої клітини під дією відцентрових сил миттєво відділяється назовні в навколишнє середовище, що особливо помітно при високій частоті обертання робочих органів бісерного млина. У цьому випадку на мікроскопних зображеннях клітини знебарвлюються, а позитивно заряджений метиленовий синій притягується до частинок, що несуть негативний заряд, таких як ДНК, РНК, поліфосфати, внаслідок чого навколишнє середовище стає нерівномірно блакитним.

Під час оброблення дріжджової суспензії при низькій частоті обертання робочих органів кількість цілісних зафарбованих клітин на мікроскопних зображеннях збільшується до 28%, ймовірно, через меншу відцентрову силу і довший час вивільнення вмісту клітини в навколишнє середовище.

З часом кількість цілісних зафарбованих клітин зменшується до нуля, а кількість зруйнованих клітин зростає до 100% (рис. 3, б, в). Під час подальшого оброблення

суспензії стінки клітин хаотично фрагментуються (рис. 3, д, е), а визначення кількості клітин стає неможливим.

Враховуючи припущення, що в бісерному млині вміст зруйнованої клітини миттєво відділяється і цільові компоненти переходять у суспензію, то подальше використання суспензії є неефективним: витрачається нераціональна енергія та час на розрив клітинних стінок.

Час, необхідний для руйнування клітини і вивільнення її вмісту у навколишнє середовище (рис. 4) складає 6 хв за частоти обертання робочих органів млина 2400 об/хв, 10 хв при 1500 об/хв, і збільшується до 45 хв при 600 об/хв.

Під час аналізу кінетики руйнування було окремо визначено кількість цілісних зафарбованих клітин, кількість зруйнованих клітин та сумарну кількість цілісних зафарбованих і зруйнованих. Це обумовлено тим, що час оброблення і, відповідно, продуктивність процесу, визначається за кількістю зруйнованих клітин, вміст яких вивільнився в навколишнє середовище.

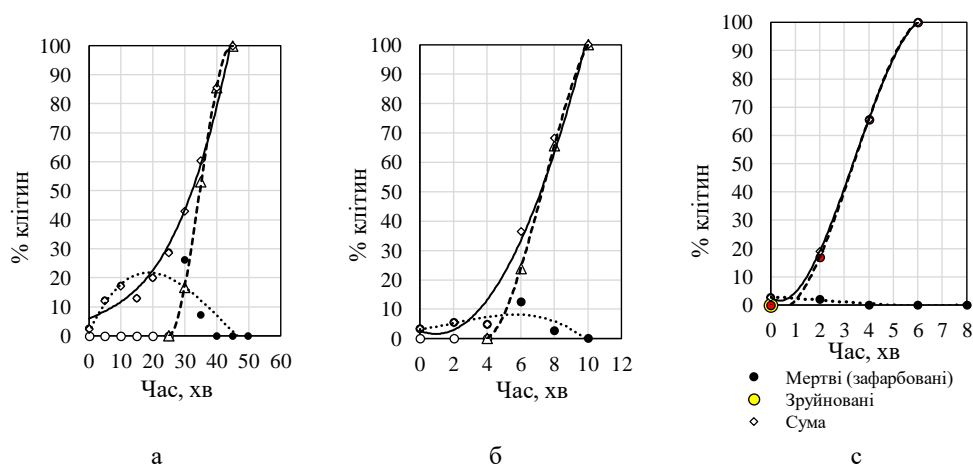


Рис. 4. Зміна кількості цілісних зафарбованих і зруйнованих клітин під час оброблення дріжджової суспензії у бісерному млині. Частота обертання ротора з робочими органами, об/хв: а — 600; б — 1500; с — 2400

Отримані криві (рис. 4) кількості зруйнованих клітин найкраще описуються поліноміальними залежностями третього порядку. Відповідно, швидкість руйнування клітин як перша похідна має другий порядок:

$$\frac{dN}{dt} = -kN^2, \quad (1)$$

де N — кількість клітин; k — коефіцієнт пропорційності.

Залежність (1) характерна для механічних методів руйнування клітин, на відміну від немеханічних методів, наприклад, заморожування-розморожування (Agyal, 2021); оброблення у полі надвисокої частоти [19], осмотичного шоку (проникнення великої кількості рідини в клітину і її розрив) [24], у полі електричних розрядів [2], хімічних методів із використанням розчинників (толуол, ефір, бензол, метанол, етилендіамін-тетраоцтова кислота, поверхнево-активні речовини та фенілетилловий спирт) [12], ферментативних методів [9].

Рекомендації щодо підвищення швидкості руйнування клітин. Виробники обладнання наголошують, що зменшення розміру бісеру призведе до більшої швидкості руйнування клітин мікроорганізмів [8, 10, 11]. Проте більшість дослідників стика-

ється з тим, що при зменшенні діаметра бісеру понад 0,3—0,4 мм ефективність процесу різко знижується [31]. Це пояснюється тим, що сипкість бісерної маси зі зменшенням діаметра бісеру знижується. Рух отримує лише невеликий об'єм бісеру, який контактує з робочими органами, а до віддалених шарів бісеру рух не передається. Для інтенсифікації циркуляції бісеру і суспензії застосовують складні конструкції робочих органів. Це, ймовірно, впливає на підвищення швидкості руйнування клітин руйнування [8].

Збільшити швидкість руйнування клітин у бісерному млині можливо за рахунок ускладнення конструкцій робочих органів дискового типу (рис. 5). Завдання швидкообертового диска — за рахунок контакту з бісером надати інтенсивного руху всій масі бісеру та забезпечити його циркуляцію в робочій камері млина.

Диски з плоскою поверхнею надають обертального руху прилеглим шарам бісеру, який під дією відцентрової сили відкидається до стінок робочої камери і далі знову витисняється потоком бісеру до осі робочої камери. Більш складні конструкції дисків [3, 8, 10, 11] передбачають наявність пазів (канавок) глухих, наскрізних прямих або складної форми. Такі конструкції забезпечують контакт бісеру з диском не лише на бічній поверхні, а й на всій поверхні канавок. Зчеплення бісеру з диском відбувається не лише за рахунок сил тертя, а й за рахунок притискання боковими поверхнями канавок, що надає бісеру додаткового імпульсу за рахунок відцентрової сили, забезпечує його інтенсивну циркуляцію в об'ємі робочої камери й обертання бісеринки з різною швидкістю. Відповідно, на частинки оброблювальної суспензії діють більші зусилля зсуву та стиснення.

Звертається увага на використання бісерних млинів з робочими органами турбінного типу [8] (рис. 6). Їх ефективність пояснюється тим, що суспензія мікроорганізмів або твердих частинок частинки разом з бісером під дією відцентрової сили викидається з турбіни до стінок робочої камери, далі виштовхується до осі ротора і знову всмоктується в турбіну [7]. Тож такий тип млинів надає достатнього руху бісеру малого діаметра. На типових конструкція млинів із робочими органами пальцевого і дискового типів такого ефекту досягти неможливо.

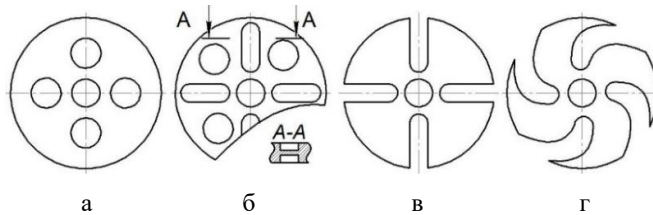


Рис. 5. Види дискових робочих органів дискових млинів: а — з плоскою поверхнею; б — з глухими пазами (канавками); в — з прямими наскрізними канавками; г — з наскрізними канавками спіралеподібної форми



Рис. 6. Циркуляції бісеру в млині з турбінним робочим органом [7]

Висновки. 1. Частота обертання робочих органів бісерних млинів значно впливає на кінетику процесу руйнування клітин мікроорганізмів.

2. Початкова кількість цілісних зафарбованих клітин у дріжджової суспензії складала 2,5—3,3%. Під час оброблення у млині їх кількість спочатку зростає до 10% при частоті обертання робочих органів 1500 об/хв і до 28% — при 600 об/хв, а далі — спадає до нуля. При частоті обертання робочих органів 2400 об/хв кількість цілісних зафарбованих клітин протягом часу оброблення спадала до 2%. Велика кількість цілісних зафарбованих клітин при низькій частоті обертання робочих органів пояснюється меншою відцентровою силою і довшим часом вивільнення вмісту клітини в навколишнє середовище.

3. Зі збільшенням частоти обертання дисків бісерного млина від 600 до 2400 об/хв час, за який усі клітини руйнуються і вивільняється їх вміст, зменшується від 55 до 6 хвилин. Через низьку швидкість руйнування клітин не рекомендується використовувати частоту обертання робочих органів меншу за 1500 об/хв.

4. Отримані криві кількості зруйнованих клітин описуються поліноміальними залежностями третього порядку. Відповідно, швидкість руйнування клітин описується рівнянням другого порядку. Така залежність характерна для механічних методів руйнування клітин.

5. Збільшення швидкості руйнування клітин можливе за рахунок використання бісеру меншого діаметра в поєднанні зі спеціальними конструкціями робочих органів дискового типу, зокрема з криволінійними пазами, або використанням робочих органів турбінного типу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Alavijeh, R. S., Karimi, K., Wijffels, R. H., van den Berg, C., Eppink, M. (2020). Combined bead milling and enzymatic hydrolysis for efficient fractionation of lipids, proteins, and carbohydrates of *Chlorella vulgaris* microalgae. *Bioresource Technology*, 309, 309—321. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123321>.
2. Aryal, S. (2021). Cell disruption — definition, methods, types, significance. *Microbe Notes*. Режим доступу: <https://microbenotes.com/cell-disruption-methods/>.
3. Ashizawa (2015). Principles of Bead Mill Technology. Ashizawa Fenetech LTD. Режим доступу: https://www.ashizawa.com/en/technology/bead_mills.html.
4. Avramia, I. (2022). Research on the extraction of β -glucans from spent brewer's yeast and their valorization in bioactive films. Doctoral thesis. Suceava: "Ștefan cel Mare" University Of Suceava.
5. Avramia I., Sonia A. (2022a). A simple and efficient mechanical cell disruption method using glass beads to extract β -glucans from spent brewer's yeast, *Applied Sciences*, 12(2), 648. <https://doi.org/10.3390/app12020648>.
6. Avramia, I., Amariei, S. (2021). Spent brewer's yeast as a source of insoluble β -glucans, *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 825. <https://doi.org/10.3390/ijms22020825>.
7. Boyee (2025). Boyee NANO bead mill machine for laboratory-boyee patent turbine rotor structure. Boyee. Режим доступу: <https://www.boyee-mill.com.cn/boyee-nmm-laboratory-bead-mill-multi-functional-experimental-bead-mill-1-2l-turbine-rotor.html>.
8. Chemtech (2025). *Bead Mill — Grinding & Dispersing*. Chemtech division. Режим доступу: <http://www.hiroshimamm-chemtech.com/en/knowledge/detail01/>.
9. Demuez, M., Mahdy, A., Tomás-Pejó, E., González-Fernández, C., Ballesteros, M. (2015). Enzymatic cell disruption of microalgae biomass in biorefinery processes. *Biotechnology and Bioengineering*, 112(10), 1955—1966. <https://doi.org/10.1002/bit.25644>.
10. ELE (2025). Bead Mill. ELE® company. Режим доступу: <https://www.ele-mix.com/bead-mill/bead-mills.html>.
11. ELE (2025a). Disc Type Bead Mill. ELE® company. Режим доступу: <https://www.ele-mix.com/bead-mill/disc-type-bead-mill.html>.

12. Gomes, T. A., Zanette, C. M., Spier, M. R. (2020). An overview of cell disruption methods for intracellular biomolecules recovery. *Preparative Biochemistry Biotechnology*, 50(7), 635—654 <https://doi.org/10.1080/10826068.2020.1728696>.
13. Günerken, E., D'Hondt, E., Eppink, M., Elst, K., Wijffels, R. (2017). Flow cytometry to estimate the cell disruption yield and biomass release of *Chlorella* sp. during bead milling. *Algal Research*, 25, 25—31. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.04.033>.
14. Heim, A., Kamionowska, U., Solecki, M. (2007). The effect of microorganism concentration on yeast cell disruption in a bead mill. *Journal of Food Engineering*, 83(1), 121—128. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.02.047>.
15. Ivanov, V., Shevchenko, O., Marynin, A., Stabnikov, V., Gubenia, O., Stabnikova, O., Shevchenko, A., Gavva, O., Saliuk, A. (2021). Trends and expected benefits of the breaking edge food technologies in 2021—2030. *Ukrainian Food Journal*, 10(1), 7—36. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-1-3>.
16. Omelianenko, K., Kasyniuk, M., Gubenia, O., Avramia I. (2025). Assessment of destruction of microorganism cells during processing in bead mill. Матеріали 91-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 7—11 квітня 2025 р. Київ: НУХТ.
17. Kovač, T., Stuburić, M., Crevar, M., Kovač, M., Nevistić, A., Lončarić, A., Šarkanj, B. (2019). Disruption of *Aspergillus flavus* cells: a bead mill homogenization method. *Food in Health And Disease, Scientific-Professional Journal of Nutrition and Dietetics*, 8(1), 13—18.
18. Lee, J. Y., Yoo, C., Jun, S. Y., Ahn, C. Y., Oh, H. M. (2010). Comparison of several methods for effective lipid extraction from microalgae. *Bioresource Technology*, 101, 75—77. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.03.058>.
19. McMillan, J. R., Watson, J. R., Ali, M., Jaafar, W. (2013). Evaluation and comparison of algal cell disruption methods: Microwave, waterbath, blender, ultrasonic and laser treatment. *Applied Energy*, 103, 128—134. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.09.020>.
20. Melendres, A. V., Honda, H., Shiragami, N., Unno, H. (1991). A kinetic analysis of cell disruption by bead mill. The influence of bead loading, bead size and agitator speed. *Bioseparation*, 2(4), 231—236.
21. Omelianenko, K., Kasyniuk, M., Gubenia, O., Avramia, I. (2025). Assessment of destruction of microorganism cells during processing in bead mill. 91st International scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievement to the 21st century nutrition problem solution", April, 7—11, 2025. Book of abstract. Part 2, Kyiv: NUFT.
22. Postma, P. R., Miron, T. L., Olivieri, G., Barbosa, M. J., Wijffels, R. H., Eppink, M. H. M. (2015). Mild disintegration of the green microalgae *Chlorella vulgaris* using bead milling. *Bioresource Technology*, 184, 297—304. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.033>.
23. Quesada-Salas, M. C., Delfau-Bonnet, G., Willig, G., Préat, N., Allais, F., Ioannou, I. (2021). Optimization and comparison of three cell disruption processes on lipid extraction from microalgae. *Processes*, 9, 369. <https://doi.org/10.3390/pr9020369>.
24. Rahman, M. M., Hosano, N., Hosano, H. (2022). Recovering microalgal bioresources: a review of cell disruption methods and extraction technologies. *Molecules*, 27(9), 2786. <https://doi.org/10.3390/molecules27092786>.
25. Ramanan, R. N., Ling, T. C., Ariff, A. B. (2008). The performance of a glass bead shaking technique for the disruption of *Escherichia coli* cells. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 13, 613—623. <https://doi.org/10.1007/s12257-008-0047-y>.
26. Safi, C., Frances, C., Ursu, A. V., Laroche, C., Pouzet, C., Vaca-Garcia, C., Pontalier, P.-Y. (2015). Understanding the effect of cell disruption methods on the diffusion of *Chlorella vulgaris* proteins and pigments in the aqueous phase. *Algal Research*, 8, 61—68. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2015.01.002>.
27. Suarez, G. E., van Leeuwen, J., Safi, C., Sijtsma, L., Eppink, M. H. M., Wijffels, R. H., van den Berg, C. (2018). Selective and energy efficient extraction of functional proteins from microalgae for food applications. *Bioresource Technology*, (2018). 268. 197—203. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.131>.
28. Van Gaver, D., Huyghebaert, A. (1991). Optimization of yeast cell disruption with a newly designed bead mill. *Enzyme and Microbial Technology*, 13(8), 665—671. [https://doi.org/10.1016/0141-0229\(91\)90082-L](https://doi.org/10.1016/0141-0229(91)90082-L).
29. Xiaochen, Yu, Tao, Dong, Yubin, Zheng, Chao, Miao, Shulin, Chen. (2014). Investigations on cell disruption of oleaginous microorganisms — hydrochloric acid digestion is an effective method for lipid

extraction. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 117(5). 730—737. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400195>

30. Касинюк, М. О., Грінінг, К. Р., Пономаренко, А. М., Губеня, О. О., Омеляненко, К. А. (2025). Бісерні млини для руйнування клітин мікроорганізмів у виробництві продукції мікробного синтезу. *Харчова промисловість*, № 37, 190—218. <https://doi.org/10.24263/2225-2916-2025-37-20>.

31. Омеляненко, К. А. (2024). Механічні способи руйнування клітин мікроорганізмів у виробництві продукції біотехнологічного синтезу. *Тренди Lean-виробництва та пакування харчової продукції*: матеріали 13-ї Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції, 17 вересня 2024 р. Київ: НУХТ.

32. Омеляненко, К., Осадчий, Д., Грінінг, К., Губеня, О. (2025). Вплив типу робочих органів на продуктивність руйнування клітин мікроорганізмів у бісерному млині. 91st International scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievement to the 21st century nutrition problem solution", April, 7—11, 2025. Book of Abstract. Part 2. Kyiv: NUFT.

УДК 621.869.8

CURRENT STATUS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL MODULES FOR LIQUID FOOD DOSING

K. Zlenko, M. Iakymchuk*National University of Food Technologies*

Key words:

dispenser,
liquid food products,
volumetric dosing,
digital technologies,
adaptive systems,
digital systems,
MES/SCADA

Article history:

Received 16.08.2025
Received in revised form
26.08.2025
Accepted 29.08.2025

Corresponding author:

konstantinzlenko84@gmail.
com

ABSTRACT

The article presents the results of a systematic analysis of liquid food product dispenser designs. A comparison is made based on their operating principles, structural features, and areas of application. During a literature review of domestic and international dispenser designs for liquid food products, three main types of dispensers were identified: volumetric, level-based, and direct-action. The advantages and disadvantages of each group are discussed. It has been concluded that most scientific research focuses on general principles and does not offer comprehensive methodologies that combine analytical modeling, experimental data, and integration into digital production systems. Based on the analysis, an extended classification of dispensers is proposed. This classification takes into account not only the dosing principle and energy source but also structural solutions, control algorithms, automation level, and integration capability with MES/SCADA digital control systems. A concept is proposed for integrating intelligent dispensers into a unified digital production infrastructure (MES/SCADA), enabling remote access and parameter optimization-identified as a key direction for the development of new dispenser designs.

Requirements are defined for implementing self-diagnostic and deviation signaling functions in new mechatronic dispensers for liquid food products. These features are expected to reduce equipment failures and downtime.

Special attention is paid to promising solutions that combine dosing processes with quality improvement of the product. These include systems that induce rotational movement of the liquid to perform deaeration and partial separation of impurities. Such approaches improve dosing accuracy, reduce product losses, and enhance the stability of equipment performance even under variable production conditions.

The results obtained can be applied in the modernization of food industry packaging lines, the design of new dispensers for small and medium-sized enterprises, and the development of adaptive dosing systems capable of quickly adjusting to different container types and dosing ranges.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-24

СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛІВ ДОЗУВАННЯ РІДКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

К. М. Зленко, аспірант, ORCID ID: 0009-0006-1718-0062

М. В. Якимчук, д-р техн. наук, ORCID ID: 0000-0002-1905-3546

Національний університет харчових технологій

У статті представлено результати системного аналізу конструкцій дозаторів рідких харчових продуктів, проведено їх порівняння за принципом дії, конструктивними особливостями та областю застосування. Розглянуто три основні типи дозаторів: об'ємні, рівневі та прямої дії. На основі проведеного аналізу запропоновано розширену класифікацію дозаторів, що враховує не лише принцип формування дози та джерело енергії, а й конструктивні рішення, алгоритми керування, рівень автоматизації та можливість інтеграції з цифровими системами керування MES/SCADA і тиску.

Отримані результати можуть бути використані при модернізації пакувальних ліній харчової промисловості, проектуванні нових дозаторів для малих і середніх підприємств та створенні адаптивних систем дозування, здатних швидко переналаштуватися під різні типи тари й діапазони доз.

Ключові слова: дозатор, рідкі харчові продукти, об'ємне дозування, цифрові технології, адаптивні системи, цифрові системи, MES/SCADA.

Вступ. Сучасні системи розливу та фасування рідких харчових продуктів проходять етап активної модернізації, спрямованої на підвищення продуктивності й точності дозування. Особливу увагу виробники приділяють впровадженню інтелектуальних дозаторів, які здатні працювати у високошвидкісних режимах, забезпечуючи швидке переналаштування величини дози та мінімізуючи втрати продукту навіть при зміні реологічних властивостей рідини.

Такі системи дають змогу реалізовувати адаптивне керування дозою в режимі реального часу, інтегрувати дані про якість і продуктивність у MES/SCADA-системи та підтримувати принципи «розумного виробництва». Додатковою перевагою є підвищення рівня гігієнічності процесу й мінімізація впливу людського фактора, що особливо важливо для виробництв із підвищеними вимогами до безпеки харчових продуктів. Однак, незважаючи на значні досягнення у сфері дозування, існує низка проблем, що стримують впровадження інноваційних технологій. Серед ключових, недостатня автоматизація процесу корекції дози та потреба в адаптивних системах контролю.

Отже, одним із актуальних завдань є розробка й удосконалення конструкцій дозаторів і методів їх автоматизованого керування, що дозволить підвищити точність і стабільність дозування, забезпечити швидку переналаштування обладнання під різні типи рідин та інтеграцію в сучасні цифрові виробничі системи.

Огляд останніх досліджень і публікацій. У працях [1—3] досліджено принципи побудови та роботи автоматизованих систем дозування, а також конструктивні особливості дозаторів для рідких харчових продуктів. Автори розглянули вплив конструкції виконавчих органів на точність дози, визначили основні фактори, що впливають на втрати продукту та повторюваність процесу. Проте ці дослідження здебільшого орієнтовані на одиничні експерименти й не враховують впливу змін реологічних властивостей рідини під час роботи виробничої лінії.

У публікаціях [4—7] приділено увагу питанням енергоефективності роботи сучасних пакувальних систем. Наведено методики розрахунку та підбору дозувальних механізмів, описано технології підвищення точності дозування в умовах високих швидкостей. Однак у цих роботах мало уваги приділено автоматизації процесу переналаштування обладнання при зміні типу харчового продукту, що є критично важливим для підприємств галузі.

Дослідження [8—12] присвячені розвитку інтелектуальних систем керування дозаторами та застосуванню цифрових технологій для забезпечення стабільності процесу. Запропоновано моделі адаптивного керування та оптимізації потоку, розглянуто аспекти гігієнічного дизайну обладнання. Водночас більшість досліджень зосереджена на загальних принципах і не пропонує комплексних методик, що поєднують аналітичне моделювання, експериментальні дані та інтеграцію в цифрові виробничі системи. Недостатньо уваги приділено практичним аспектам впровадження таких систем на підприємствах із різним рівнем автоматизації.

Мета дослідження: проведення системного аналізу конструкцій дозаторів для рідких харчових продуктів, розроблення їх узагальненої класифікації та визначення завдань для адаптації в їх системи керування сучасних інтелектуальних рішень і цифрових технологій з метою розширення їх функціональних можливостей.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є конструкції дозаторів для рідких харчових продуктів, що застосовуються в пакувальних лініях. Основним методом дослідження є системний аналіз і порівняння існуючих технічних рішень з подальшою розробкою класифікації та визначенням вимог до впровадження інтелектуальних систем керування.

Результати досліджень. Аналіз сучасного ринку пакувального обладнання показує, що найбільш розвиненим є сегмент автоматичних ліній пакування рідких харчових продуктів середньої й високої продуктивності (від 3000 шт/год), тоді як обладнання малої продуктивності (до 1500 шт/год), напівавтоматичні та ручні дозатори представлені обмежено й не завжди відповідають вимогам адаптивності та гнучкості.

Для розливу харчових рідин застосовують три основні типи дозаторів, які відрізняються принципом роботи та конструктивним виконанням.

Дозатори за об'ємом (рис. 1) працюють на основі мірної ємності, у якій формується доза харчового продукту.

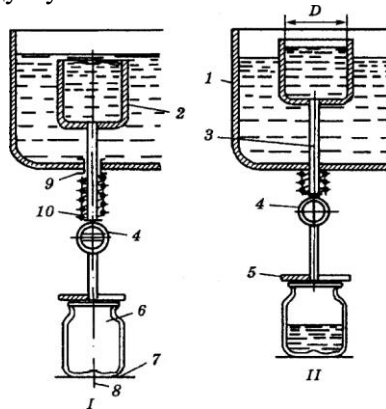


Рис. 1. Дозатор за об'ємом: I — початок дозування; II — кінець дозування; 1 — ємність зберігання рідкого харчового продукту; 2 — мірна посудина; 3 — трубка подачі рідини; 4 — запірна арматура; 5 — патрон; 6 — споживча тара; 7 — нижній патрон; 8 — шток

Принцип роботи дозатора для рідких харчових продуктів об'ємного типу полягає в послідовному наповненні мірної ємності продуктом до заданого рівня та подальшому зливі відміряного об'єму в споживчу тару. Клапани подачі та випуску рідкого харчового продукту керуються автоматично. До переваг такого типу дозаторів можна віднести стабільність роботи, можливість регулювання дози простим переналаштуванням характеристик давача визначення рівня. Такі дозатори випускаються у кількох типорозмірах: малий (50—250 мл), стандартний (250—1000 мл) і великий (1000—2000 мл і більше). Вони підходять для роботи як у напівавтоматичному, так і в автоматичному режимі. Серед недоліків слід відзначити обмежену гнучкість при роботі з рідинами, схильними до піноутворення, що призводить до похибок у відмірюванні дози. Наявність проміжної мірної ємності підвищує ризик вторинної контамінації продукту в разі недостатнього рівня СІР-очищення. Крім того, зі збільшенням об'єму дози зростає тривалість циклу наповнення, що негативно впливає на продуктивність пакувальної лінії.

Дозатори за рівнем (рис. 2) не містять мірної ємності, а формування дози рідкого харчового продукту відбувається безпосередньо у споживчій тарі.

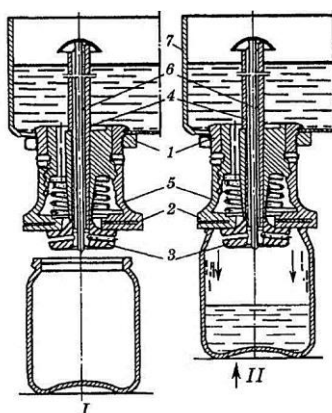


Рис. 2. Дозатор за рівнем: I — початок дозування; II — кінець дозування; 1 — корпус; 2 — гумовий патрубок; 3 — сідло-витискувач; 4 — гумовий патрубок; 5 — пружина; 6 — патрубок; 7 — ємність зберігання рідкого харчового продукту

Принцип роботи заснований на контролі рівня рідини за допомогою контрольної трубки: коли рівень досягає нижнього краю трубки, подача припиняється. Це рішення дозволяє розливати продукт у тару будь-якої форми й об'єму (за умови однакової горловини) та забезпечує високу продуктивність, оскільки відсутня стадія попереднього набору дози. До переваг належить також простота налаштування, зміна рівня дози досягається переміщенням трубки. Проте точність дозування залежить від стабільності тиску та рівня подачі продукту, тому для в'язких або пінистих рідин необхідні додаткові стабілізуючі пристрої.

Дозатори прямої дії (рис. 3) використовують енергію самої рідини, без додаткових джерел енергії, що робить їх ідеальними для середовищ із підвищеними вимогами вибухозахисту.

У конструкції застосовується мембрана, яка реагує на тиск рідини й перекидає потік після досягнення заданого рівня. Об'єм дози регулюється зміною положення контрольної трубки та переміщенням витискувача. До переваг належить енергонеза-

лежність, простота конструкції, відсутність електроніки та висока надійність. Недоліки — відносно висока чутливість до зміни тиску в системі, необхідність проведення періодичних процедур калібрування мембрани для збереження точності дозування.

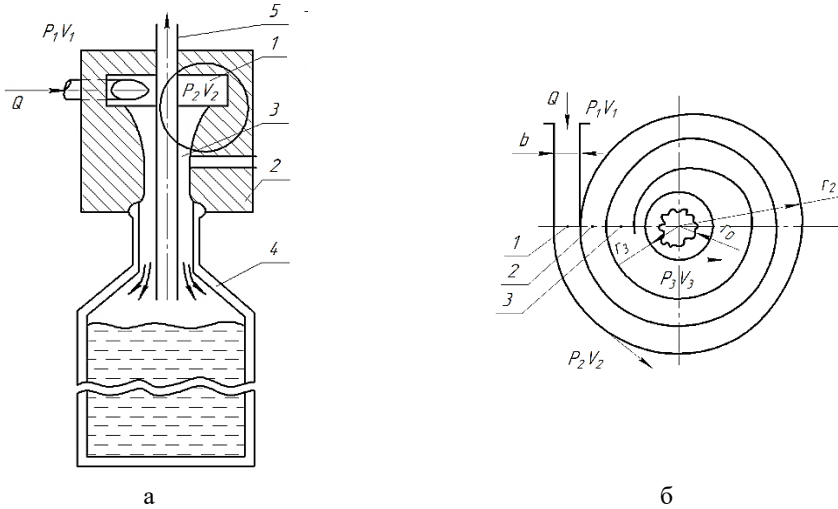


Рис. 3. Дозатори прямої дії з потоком рідини, яка обертається: а — схема розливної головки; б — канали руху рідини; 1 — камера розливної головки; 2 — корпус дозатора; 3 — канал подачі рідини; 4 — споживча тара; 5 — трубка для виходу повітря

Таке розширене системне уявлення про існуючі конструкції дозаторів дозволяє не лише правильно їх підбирати для конкретних умов виробництва, а й визначати напрями подальших досліджень щодо підвищення автоматизації процесів, інтеграція з цифровими системами керування (SCADA, MES) та розробка адаптивних алгоритмів регулювання дози.

Відомі класифікації дозаторів рідких харчових продуктів, широко представлені в наукових публікаціях, зазвичай базуються на принципах формування дози. Зокрема, поширеним є поділ дозування на дискретне (циклічне), коли кожна доза відмірюється окремо з чітко визначеним початком і завершенням циклу, та неперервне, коли подача продукту здійснюється безперервним потоком із контролем витрати.

Інший поширений підхід — це класифікація за способом дозування: об'ємне, коли доза визначається об'ємом робочої камери або циліндра; вагове, де кількість продукту контролюється за масою з використанням тензодатчиків або вагових платформ.

Сучасні розширені класифікації враховують властивості дозованих харчових продуктів, їхню в'язкість, схильність до спінювання, а також конструктивні та функціональні особливості дозаторів. Вони дозволяють виокремити групи за методом контролю величини дози, наприклад, дозатори з прямим контролем об'єму або маси та дозатори з непрямим контролем наприклад, за тиском у дозувальній камері. Окремо можна виділити групу дозаторів без контролю дози, до яких належать сифони, гравітаційні дозатори та системи з мірним посудом, де об'єм визначається конструкцією ємності, а подача завершується після її заповнення. Таке структурування дозволяє більш чітко пов'язати тип дозатора з його конструктивними особливостями та властивостями продукту, що дозується. Це є особливо важливим для харчової промисловості, оскільки забезпечує високу повторюваність об'єму або маси дози, дотримання

санітарно-гігієнічних норм і стабільність роботи обладнання навіть за зміни реологічних параметрів харчового продукту.

Проте такі підходи лише частково відображають сучасний стан розвитку дозувальної техніки, оскільки вони не враховують конструктивні особливості дозаторів у поєднанні з видом енергії, яка використовується у процесі дозування, а також не розкривають взаємозв'язок між приводом, алгоритмами керування.

З огляду на це була запропонована більш повна класифікація дозаторів, яка відображає нові підходи до принципів дозування, враховує сучасні конструктивні рішення та рівень автоматизації (рис. 4).



Рис. 4. Класифікація дозуючих пристроїв для рідких харчових продуктів

Такий підхід дозволяє розглядати дозатор як комплексний мехатронний вузол. У запропонованій класифікації особливе місце відведено групі дозаторів циклічної дії, які періодично формують порції рідини та дозволяють незалежно регулювати як об'єм одиничної дози, так і період її подачі. Це важливо для високопродуктивних пакувальних ліній, де часто виникає потреба швидко змінювати налаштування без зупинки процесу. В окремий клас виділено дозатори прямої дії, що працюють виключно за рахунок енергії дозованої рідини. Усередині цього класу можна розрізнити системи, в яких подача припиняється шляхом зупинки подачі повітря в тару, а також системи, де застосовуються пружні акумулятори енергії, наприклад, пружини чи мембранні камери. У таких дозаторах використовуються різні механізми спрацювання, зокрема механізми з фіксацією в точці нестійкої рівноваги або з використанням спускових пристроїв. Детальне опрацювання останньої групи показує, що в ній можуть бути виокремлені конструктивні варіанти більш низького порядку за типом механізму фіксації моменту набору дози, способом відкриття/закриття клапанів і типом

сенсорів, які контролюють рівень або тиск у системі. Така деталізація дозволяє врахувати різноманіття технологічних рішень, які застосовуються в харчовій промисловості.

Особливої уваги заслуговує група дозаторів, що використовують тиск рідини як основну рушійну силу. Представником цієї групи може бути пристрій, у якому потоку рідини надається обертальний рух під час подачі в тару, що створює ефект відцентрової сепарації частинок, відмінних за густиною. Це дозволяє видаляти механічні домішки та газові вклучення, досягаючи ефекту деаерації продукту, що істотно покращує його якість і підвищує точність дозування.

Важливим етапом подальшого розвитку систем дозування, визначених у запропонованій класифікації (див. рис. 4), є впровадження сучасних цифрових технологій керування, що дозволяють перейти від традиційних систем до інтелектуальних рішень. Такі системи мають забезпечувати безперервний моніторинг ключових параметрів процесу дозування, наприклад, тиску, витрати, температури та рівня продукту з подальшою можливістю їх реєстрації та аналізом для оптимізації режимів роботи. Інтеграція дозаторів у єдину цифрову виробничу інфраструктуру типу MES/SCADA дає змогу здійснювати віддалений контроль і швидко переналаштування обладнання в режимі реального часу, що особливо важливо для гнучких виробничих систем із частими змінами асортименту.

Рекомендовано впроваджувати адаптивні алгоритми керування, здатні автоматично коригувати тривалість відкриття клапанів або швидкість насосів залежно від зміни в'язкості й температури продукту. Це дозволить мінімізувати похибки дозування при коливанні параметрів сировини та підтримувати стабільність процесу. Додатковим напрямом удосконалення є впровадження функцій самодіагностики й сигналізації відхилень, що сприятиме зменшенню кількості аварійних зупинок і втрат продуктивності.

Таким чином, запропонована класифікація є більш комплексною та відображає сучасний стан і перспективи розвитку систем дозування для харчової промисловості. Вона дає змогу не лише систематизувати відомі конструкції, а й виділити напрями подальших досліджень.

Висновки. 1. На малих і середніх виробництвах особливо актуальним є застосування гнучких дозувальних систем, здатних швидко переналаштовуватися під різні види тари, діапазони доз і властивості продуктів, забезпечуючи простоту обслуговування та відповідність санітарно-гігієнічним вимогам.

2. Запропонована розширена класифікація дозаторів рідких харчових продуктів більш повно відображає сучасний стан розвитку дозувальної техніки, оскільки поєднує принципи формування дози, джерело енергії, конструктивні особливості та рівень автоматизації, розглядаючи дозатор як комплексний мехатронний вузол.

3. Запропоновано концепцію поєднання інтелектуальних дозаторів в єдину цифрову інфраструктуру виробництва (MES/SCADA) з можливістю віддаленого доступу й оптимізації параметрів як ключового напрямом розвитку нових конструкцій дозаторів.

4. Передбачено вимоги щодо впровадження в нових мехатронних дозаторах для харчового рідкого продукту функцій самодіагностики та сигналізації відхилень, що дозволить зменшити кількість відмов і простоїв обладнання.

5. Встановлено, що використання дозаторів, які створюють обертальний рух рідини під час подачі, забезпечує додаткові ефекти, деаерацію, часткову сепарацію механічних домішок, що підвищує якість продукції та стабільність процесу дозування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Якимчук, М. В., Гавва, О. М., Безпалько, А. П. (2020). Дослідження динаміки роботи лінійних пневматичних приводів із пропорційним регулюванням тиску. *Харчова промисловість*, 27, 114—125.
2. Чугай, А. С., Гнатюк, О. М., Белов, С. А. (2021). Автоматизовані системи розливу харчових продуктів: аналіз сучасних конструкцій та перспектив розвитку. *Обладнання та технології харчових виробництв*, 1(45), 55—62.
3. Сидоренко, В. М., Ковальчук, Т. С. (2022). Розробка дозаторів для фасування рідких продуктів з урахуванням реологічних властивостей. *Наукові праці НУХТ*, 28(5), 37—44.
4. Мельник, О. В. (2021). Підвищення точності дозування у високошвидкісних лініях розливу на основі адаптивних алгоритмів керування. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства*, 225, 93—101.
5. Павленко, І. І. (2020). Гігієнічні аспекти роботи автоматичних систем дозування рідких харчових продуктів. *Продовольчі ресурси*, 14, 23—29.
6. Микитюк, Л. П., Ільченко, А. О. (2023). Енергоефективні рішення в системах розливу молочних продуктів. *Харчові науки і технології*, 17(2), 66—72.
7. Дубовик, П. С. (2021). Системи контролю якості дозування на харчових виробництвах. *Вісник Сумського державного університету. Серія: Технічні науки*, 2, 45—51.
8. Johnson, P., & Singh, R. (2021). Design considerations for liquid dosing systems in the food industry. *Journal of Food Engineering*, 302, 110—118.
9. Huang, Y., & Lin, Z. (2022). Intelligent dosing technologies for viscous food products: a review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, 102—113.
10. Ghosh, S., & Patel, A. (2020). Hygienic design of filling machines for dairy and beverage industries. *Food Control*, 118, 107—116.
11. Zhang, L. et al. (2022). Adaptive control strategies for precision dosing of liquid food products. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 69(12), 12345—12353.
12. Nakamura, K., & Tanaka, H. (2023). Optimization of flow control in automated liquid filling lines. *Procedia CIRP*, 117, 231—237.

УДК 664.001.573

EQUIPMENT DESIGNS AND OPERATING MODES OF ULTRASONIC CUTTING OF FOOD PRODUCTS

I. Sokolov, O. Gubenia

National University of Food Technologies

Key words:

ultrasonic,
cutting,
food,
force,
quality,
hygiene

Article history:

Received 13.08.2025

Received in revised form

26.08.2025

Accepted 28.08.2025

Corresponding author:

sokolov.igor.sokolov@gmail.com

ABSTRACT

This review synthesizes peer-reviewed studies and industrial reports on ultrasonic cutting (UC) of food products, emphasizing equipment designs and operating modes. A UC assembly comprises a high-frequency generator, a piezoelectric transducer, a booster/horn (sonotrode), and a tuned blade; resonance is commonly longitudinal at 20–40 kHz, though torsional and flexural modes are used. Relative to conventional knives, UC lowers cutting force, adhesion, and deformation, enabling slicing of soft or sticky matrices such as cheeses, cakes, confectionery, and pâtés. Key variables — frequency, tip amplitude, tool geometry, inclination, cutting velocity, and product temperature — jointly determine cutting work, surface finish, and crumb formation. Composition-dependent responses (e. g., fat/moisture ratio and protein network strength) require product-specific optimization and pretreatment (cooling or short tempering). Reported benefits include clean surfaces, reduced waste, fewer stoppages, longer cleaning intervals, and tighter control of slice thickness. Risks — localized heating or surface oxidation — are managed by limiting amplitude, selecting suitable duty cycles or pulsed operation, and removing heat via fixtures or airflow. Equipment choices span solid horns and composite stacks, straight profiles and multi-lane arrays; hygienic design (crevice-free joints, CIP-compatible seals) remains essential. Research gaps include standardized reporting of acoustic parameters at the cut zone, predictive models linking energy input to food rheology, and in-line sensing of amplitude, temperature, and tool wear. This review consolidates practical parameter ranges and design heuristics to guide specification, scale-up, and energy-efficient operation of UC systems in industrial slicing.

DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-25

КОНСТРУКЦІЇ ОБЛАДНАННЯ ТА РЕЖИМИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО РІЗАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

І. П. Соколов, аспірант,

О. О. Губеня, канд. техн. наук, ORCID-ID: 0000-0003-2773-4373

Національний університет харчових технологій

Цей огляд узагальнює дослідження та дані виробників обладнання щодо ультразвукового різання (УР) харчових продуктів. Системи УР складаються з генератора, перетворювача, сонотроди та налаштованого леза, що, зазвичай, працюють на частоті 20—40 кГц. Порівняно зі звичайними ножами, УР знижує зусилля, прилипання та деформацію, забезпечуючи точне нарізання м'яких чи липких продуктів, як-от сирів, тортів й паштетів. Основні параметри (частота, амплітуда, геометрія леза, швидкість і температура продукту) визначають ефективність різання та якість поверхні. Склад продукту вимагає індивідуальних налаштувань і попереднього оброблення. Серед переваг — гладкі поверхні, менше відходів, довші інтервали між очищеннями й точна товщина скибок. Виклики, зокрема нагрівання чи окиснення, долаються завдяки контролю амплітуди, імпульсним режимам й охолодженню. Досі бракує стандартизованих даних, предиктивних моделей і систем моніторингу. Огляд надає практичні орієнтири для масштабування та енергоефективної роботи промислових систем УР.

Ключові слова: *ультразвук, різання, харчовий продукт, сила, якість, гігієна.*

Вступ. Ультразвукове різання (УЗ-різання) — це технологія допоміжного вібраційного різання, у якій різальний інструмент коливається з високою частотою (зазвичай 20—40 кГц) і малою амплітудою в резонансному режимі [5, 6]. Коливальний рух модулює контакт «ніж-продукт», зменшуючи миттєвий коефіцієнт тертя, послаблюючи адгезію і знижуючи пікові зусилля [11, 13], які призводять до зминання і викришування продукту. Завдяки цьому УЗ-різання забезпечує чисті зрізи у м'яких, в'язких і багатошарових харчових системах — сирах різної зрілості, мусових десертах, бісквітах, тортах, батончиках, паштетах тощо [20, 21, 31], де традиційні ножі часто призводять до «мазків», деформації або нестабільної геометрії порцій.

Промислова зацікавленість у цій технології зростає через кілька взаємопов'язаних переваг:

- автоматизація порціонування та суворий контроль маси/розмірів у фасованих продуктах;
- зниження втрат від викришування й налипання [20, 31], що безпосередньо впливає на вихід і собівартість;
- гігієнічний дизайн і прискорення циклів санітарного оброблення (менше забруднення леза, простіше очищення) [22, 23];
- потреба у відтворюваній якості поверхні [31] для преміум-категорій і фуд-сервісу.

Для виробників це означає стабільнішу роботу ліній та меншу чутливість процесу до варіацій рецептур і температури напівфабрикатів.

З погляду фізики процесу, УЗ-збудження концентрує енергію в тонкому приповерхневому шарі, викликаючи мікроскопічні зуви та періодичне розвантаження матеріалу на фронті тріщини. Це знижує роботу різання і перешкоджає безперервному прилипанню продукту до крайки [11, 19]. Водночас надмірні амплітуди або невіддале узгодження резонансу можуть спричинити локальний нагрів, неконтрольовані резонансні форми вібрації і погіршення якості зрізу [38], тому вибір режимів (частота,

амплітуда, швидкість, кут атаки) потребує тонкого налаштування з урахуванням реології конкретного продукту та його температурного стану [15, 20].

За останні роки розвиток силової електроніки, цифрового керування й сенсорики зробив УЗ-різальні системи доступнішими та надійнішими для безперервного виробництва [6, 37, 38]. Незважаючи на численні прикладні успіхи (насамперед у сирах і кондитерських виробках), у галузі досі бракує уніфікованої термінології параметрів, методик вимірювання зусилля/роботи різання та моделей, що пов'язують рецептурні фактори з якістю зрізу [15, 31].

У цьому огляді систематизовано знання про конструкції УЗ-обладнання (перетворювач, бустер/сонотрод, геометрія леза та типи механізмів подачі) і про вплив ключових режимів (частота, амплітуда коливань на крайці, швидкість різання, кут, контактний тиск, температура продукту) на силу/роботу різання, якість поверхні, точність порціонування, відходи та гігієну. Окремо розглянуто продукт-специфічні особливості (сири, кондитерські вироби, фрукти/овочі), аспекти енергетичної ефективності й санітарії, підходи до моделювання та напрями подальших досліджень.

Метою огляду є систематизація відомостей про конструктивні рішення вузлів УЗ-різання та діапазони технологічних режимів, що визначають якість зрізу й енергоефективність процесу.

Матеріали і методи. Розглядаються способи та обладнання для ультразвукового різання харчових продуктів.

Морфологічний аналіз кластерів наукових знань про ультразвукове різання харчових продуктів виконано на основі презентацій і рекламної інформації виробників технологій та обладнання, а також наукових статей, дисертацій і галузевих технічних оглядів.

Результати і обговорення. Принцип дії та типова будова УЗ-пристроїв для різання. Більшість пристроїв для ультра-звукового різання виконані у формі гільйотинних (рис. 1) або плоских (рис. 2) ножів.

Гільйотинні ножі частіше застосовуються для автоматизованого нарізання продуктів.



Рис. 1. Гільйотинна УЗ-різальна система (адаптовано з <https://www.weldultrasonic.com/ultrasonic-cutting-equipments/ultrasonic-food-cutting/ultrasonic-bread-slicer-machine.html>)



Рис. 2. Плоский УЗ ніж (адаптовано з https://www.altrasonic.com/customizable-ultrasonic-cutter-for-bread-high-efficiency-energy-output-28khz-ultrasonic-food-cutting-machine_p2428.html)

Типові конструктивні елементи УЗ-ножа показані на рис. 3.

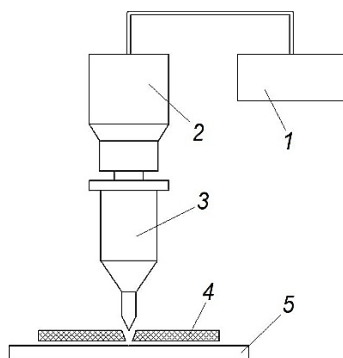


Рис. 3. Архітектура базової УЗ-різальної системи: 1 — генератор; 2 — перетворювач; 3 — підсилювач; 4 — різальний інструмент; 5 — матеріал, що ріжеться; 6 — різальна поверхня

УЗ різальна система складається з типових вузлів, що мають варіативні конструкції зі стійким призначенням (табл. 1 та 2).

Таблиця 1. Основні вузли УЗ-різальної системи та їх роль [12, 37, 38]

Вузол	Основна функція	Ключові параметри	Типові діапазони/нотатки
Генератор високої частоти	Збудження коливань і підтримання резонансу	Частота, амплітуда, потужність, імпедансний трекінг	20/30/35/40 кГц; 0,3—3 кВт/канал
Перетворювач (трансдюсер)	Перетворення електрики у поздовжні коливання	Ємність, Q-фактор, попередній натяг, температура	Монтаж у вузлових зонах, IP-захист
Підсилювач (рогоподібний трансформатор)	Механічний трансформатор амплітуди	Коефіцієнт підсилення, місця вузлів, матеріал	Титан/сталь; ±3...±6 dB
Різальний інструмент (сонотрод)	Доставка енергії до кромки	Геометрія, рівномірність амплітуди, покриття	Полірування, PTFE/DLC

Таблиця 2. Додаткові вузли УЗ-різальної системи та їх роль [12, 38]

Вузол	Основна функція	Ключові параметри	Типові діапазони/нотатки
Кінематика подачі	Створення відносного руху різання	Швидкість, кут атаки, притиск	Гільотина/диск/дріт, inclined-blade
Кріплення/демпфери	Механічна стабільність	Жорсткість, резонанс рами	Вібророзв'язка від корпусу лінії
Вимірювання і керування	Контроль якості й безпеки	Датчики сили/температури/амплітуди	PLC/fieldbus, SPC-лог

Найбільшою відмінністю в конструкції УЗ-різаних систем є вибір генератора високої частоти. Ключові відмінності в підходах можна побачити в табл. 3.


Таблиця 3. Порівняння генераторів високої частоти за фізичним принципом перетворення

Критерій	П'єзоелектричний болтовий перетворювач (Ланжевен)	Магнітострикційний перетворювач
Фізичний принцип енергообміну	Пряме перетворення електричної енергії в деформацію PZT-кераміки; передача через болтовий вузол у бустер/ріг [12, 37]	Електрична енергія → магнітне поле котушок; зміна магнітного об'єму стрижня (магнітострикція) та передача в ріг [12, 38]
Робочі частоти в УЗ-різанні	Типово 20, 30 або 40 кГц; вибір визначається геометрією інструмента та узгодженням резонансу [12, 15]	Переважно до ~30 кГц; конструкції на 20 кГц — для підвищеної потужності/живучості [12, 38]
Амплітуда на різальній кромці	Орієнтовно 10—70 мкм; налаштовується геометрією бустера/рогу [15, 37]	Порівнювані амплітуди досяжні за нижчих частот і більшої маси вузла; залежать від матеріалу стрижня і режиму намагнічування [12, 38]
Втрати та очікуваний ККД	Невеликі втрати у кераміці й з'єднаннях; системний ККД, зазвичай, вищий (менше тепловиділення) [12, 37]	Додаткові втрати у котушках/магнітопроводах (вихрові, гістерезис); системний ККД зазвичай нижчий [12, 38]
Маса й габарити	Компактніша конструкція, зручна для інтеграції у модулі з обмеженим простором [12, 37]	Більша маса/габарити через стрижень, котушки та магнітопровід [12, 38]
Тепловий режим, охолодження	Помірне тепловиділення; у тривалих високопотужних режимах потрібне примусове охолодження [12, 37]	Підвищене тепловиділення в котушках/магнітному колі; часто потрібне інтенсивне охолодження [12, 38]
Механічна міцність і стійкість	Чутливість до порушення попереднього натягу й до деполяризації при перегріві; потрібен точний монтаж і контроль натягу [12, 37]	Висока механічна міцність і стійкість до ударів; ширший робочий температурний діапазон [12, 38]
Матеріали й фактори вартості	PZT-кераміка; зрілий ринок вузлів, інкапсульований свинець не контактує з продуктом [12, 37]	Terfenol-D/нікель; залежність від рідкісноземельних елементів підвищує вартість [12, 38]
Поширеність у харчових лініях	Домінуючий вибір для широкого спектра продуктів [15, 31]	Нішеве застосування, коли критичні підвищена надійність і термостійкість [12, 15]
Переваги	Вищий системний ККД, компактність, типові частоти 20/30/40 кГц; простіше узгодження з бустерами/рогами [15, 37]	Живучість за ударних/температурних навантажень; стабільність параметрів у важких умовах [12, 38]
Обмеження	Необхідність підтримувати правильний попередній натяг і температурний режим, щоб уникнути деполяризації [12, 37]	Збільшена маса/габарити, нижчий системний ККД, складніший відвід тепла [12, 38]


Конструкції та сфера застосування різних типів УЗ-ножів і сонотродів. Розглянемо конструктивні особливості, режимні параметри роботи та сферу застосування таких типів УЗ-ножів і сонотродів:

- гільйотинні (лінійні) сонотроди (табл. 4);
- зубчасті та стрічкові пилки (табл. 5);
- ротаційні ножі (табл. 6);
- багатоножові та комбіновані установки (табл. 7).


Таблиця 4. Конструктивні особливості та сфера застосування гільйотинних сонототродів [20, 21, 31]

Рух інструмента	Прямолінійний вертикальний рух леза (цикл занурення і підйому). Може бути одиночним або багатолезовим.
Типові параметри	Частота 20—30 кГц; амплітуда 20—50 мкм; ширина леза до 300—350 мм; глибина різку до ~150 мм
Переваги	- універсальність: підходить для більшості продуктів (від м'яких до твердих); - висока якість зрізу без деформацій і змішування шарів; - можна різати товсті вироби цілком
Недоліки	- циклічність: обмежена швидкість конвеєра (пауза на підйом леза); - вища амплітуда = більше навантаження на сонотрод (знос); - дорожчий за звичайний ніж
Приклади продуктів	Торти, тістечка, сири, бутерброди, багети, піца, рулети, овочеві та м'ясні продукти
Ілюстрація	

Таблиця 5. Конструктивні особливості та сфера застосування зубчастих пилок [31, 33]

Рух інструмента	Зворотньо-поступальний (для леза) або безперервний обертальний рух (для стрічкової пилки). Зубчаста ріжуча крайка
Типові параметри	Частота ~20 кГц; амплітуда 10—30 мкм (нижча, ніж у гладких ножів, бо зубці самі вриваються); матеріал леза — титан або сталь з титановим накладом
Переваги	- ефективніше врізання у тверді/жорсткі матеріали завдяки зубцям; - може різати продукти з твердими включеннями (кістка, горіхи) з меншим зусиллям; - зменшене тертя зубців — менше нагрівання при різанні товстих об'єктів
Недоліки	- може спричиняти викришування і нерівний зріз у м'яких продуктів (не підходить для делікатних шарів); - складніше очищення (залишки в зубцях), хоча вібрація частково самоочищує; - менш універсальна
Приклади продуктів	Хліб з твердою скоринкою, заморожене м'ясо і риба, тверді овочі (гарбуз, капуста), продукти з кістками. Не використовується для тортів/кремів
Ілюстрація	

Таблиця 6. Конструктивні особливості та сфера застосування ротаційних ножів [15, 31]

Рух інструмента	Обертальний рух круглого леза або барабана; різання в безперервному режимі (продукт рухається або лезо котиться по ньому)
Типові параметри	Частота: 20—40 кГц (часто ~35 кГц для компактності); амплітуда 10—30 мкм; діаметр диска типово 50—150 мм (від цього залежить глибина різі); може бути кілька дисків для паралельного різання (слітер)
Переваги	- безперервне різання без зупинок — висока продуктивність; - можливість інтеграції на конвеєр (різка на ходу); - мінімум налипання і зупинок на очистку (диск вібрує постійно)
Недоліки	- обмежена товщина продукту (диск не проріже дуже товстий об'єкт); - складність конструкції (потрібен обертовий ультразвуковий вузол); - вузька спеціалізація — прямі довгі різі, неможливо робити складні контури
Приклади продуктів	Безперервна нарізка пластів випічки, нарізка тіста на печиво, нарізка довгих батончиків, розрізання рулонних продуктів (нуга, пастила) на стрічки
Ілюстрація	

Таблиця 7. Конструктивні особливості та сфера застосування комбінованих установок [31]

Рух інструмента	Різні конфігурації: кілька ультразвукових ножів під кутами, автоматизовані маніпулятори тощо
Типові параметри	Залежить від конфігурації (часто 20 кГц ножі в наборі). Оснащуються додатковими модулями (ваги, сервоприводи для позиціонування)
Переваги	- миттєве порціонування складних форм (наприклад, одночасне різання цілої головки сиру на 6—8 частин); - оптимізація під продукт (налаштування кута, глибини зрізів); - максимальна автоматизація (мінімум ручної праці)
Недоліки	- висока складність і ціна обладнання; - призначення вузько під конкретні задачі; - вимагає калібрування і наладки під кожен продукт
Приклади продуктів	Розділення великих об'єктів: головки сиру на сегменти, великих тортів на порції різної форми; нарізка продукції на вагу (з інтегрованим зважуванням)

Енергетичні параметри ультразвукового різання. Ультразвукове різання описується набором керованих факторів:

- частота коливань f ;
- амплітуда переміщення крайки леза A (навантажена, на кінчику);
- швидкість різання/подачі v ;
- кут атаки леза α та кут нахилу β ;
- контактний тиск/нормальна сила F_N ;
- геометрія та мікротекстура леза.

У сукупності ці параметри визначають силу різання F_c , питому роботу різання w

(на одиницю довжини зрізу), тепловклад у зону різання, чистоту поверхні та крихтування [21].

Питома робота різання визначається так:

$$w = (1/L) \int_0^L F_c dx, \quad (1)$$

де L — довжина тракторії леза в матеріалі.

За даними літератури УЗ-збудження істотно зменшує F_c та w при належному доборі A та v [20].

Енергетична оцінка базується на питомому споживанні E_{spec} (кВт·год на кг або на 1000 зрізів):

$$E_{spec} = E_{el \text{ за зміну}}/m, \quad (2)$$

де m — маса продукту, $E_{el \text{ за зміну}}$ — загальне споживання електроенергії обладнанням за зміну, кВт·год.

УЗ-різання може мати дещо вищий миттєвий електровжиток генератора, проте компенсує його зменшенням механічної роботи різання, відходів і простоїв на прибирання. На практиці вирішальними є контроль амплітуди під навантаженням, уникнення паразитних мод та оптимальна температура продукту [1—4, 7—10]. Детальніше в табл. 8.

Таблиця 8. Енергетичні важелі оптимізації

Важіль керування	Очікуваний ефект на E_{spec}	Коментар
Амплітуда (A) під навантаженням	U-крива: зовелика або замала A підвищує E_{spec}	Шукати плато мінімуму через короткі експерименти
Швидкість (V)	Нелінійний вплив; надмірна v збільшить E_{spec}	Узгоджувати з A і T продукту
Температура продукту (T)	Зниження T у допустимих межах зменшує E_{spec}	Менше налипання і F_c
Геометрія/покриття леза	Зменшує тертя, стабілізує зріз	Мікросерейтор, PTFE/DLC
Резонансне узгодження	Значне зниження втрат	Контроль частоти та імпедансу
Санітарія за станом	Менші простої на миття	Тренд-аналіз АТР та потужності

Примітка: АТР-тести — це методи швидкого контролю чистоти поверхонь і обладнання, засновані на виявленні залишків аденозинтрифосфату, який є універсальним маркером біологічних забруднень (залишки їжі, мікроорганізми).

Технологічні режими та їх вплив на процес різання.

1. *Частота та амплітуда коливань.* Робочі частоти промислових систем, зазвичай, становлять 20—40 кГц (рідше 30/35/40 кГц для інструментів малої площі). Зростання амплітуди крайки леза (типово 10—50 мкм) знижує середню силу різання завдяки періодичному розриву контакту та мікророзвантаженню в'язко-пружної матриці. Проте надмірна A підвищує локальний тепловклад і ризик мікропошкодження структури (мазки у кремах, «підпалення» глазури) [14, 20, 37]. Рекомендовано контролювати амплітуду на крайці леза під навантаженням (лазерна віброметрія або вбудована оцінка за імпедансом) з допуском ± 5 —10% [15].

2. *Швидкість різання/подачі.* Підвищення v збільшує продуктивність, але після порогу, що залежить від реології продукту, зростають F_c і w через домінування в'язких складових. Типові робочі діапазони — 50—300 мм·с⁻¹ для гільйотинних схем та 0,1—1,0 м·с⁻¹ лінійної швидкості крайки для дискових/дротових інструментів. Оптимум досягається спільним налаштуванням (A , v) з урахуванням температури продукту [1, 2, 4].

3. *Кут атаки, нахил і контактний тиск.* Невеликий позитивний кут атаки ($\alpha \approx 5\text{--}15^\circ$) сприяє формуванню стабільної лінії тріщини та евакуації крихт; кут нахилу β ($2\text{--}8^\circ$) корисний для зменшення налипання у шарових виробках. Статичний притиск слід мінімізувати — надлишковий F_N погіршує чистоту зрізу та прискорює нагрів. Мікросерейтор та антиадгезійні покриття (PTFE/DLC) знижують силу тертя, особливо для липких мас [4, 16].

4. *Температурний стан продукту.* Температура істотно модулює реологію й адгезію. Для сирів доцільне охолодження до $4\text{--}12^\circ\text{C}$ залежно від зрілості (менше налипання, менше крихт), для кремово-мусових та шоколадних виробів — кондиціонування $8\text{--}16^\circ\text{C}$ з уникненням конденсату; для желейних/карамельних мас інколи потрібні $0\text{--}6^\circ\text{C}$ для стабілізації зрізу. Надмірне охолодження підвищує крихкість і ризик тріщиноутворення; підігрів приводить до «мазків» і деформацій [3, 4, 8].

5. *Резонансне узгодження та стабільність процесу.* Ефективність визначається точним узгодженням власної частоти інструмента з частотою генератора (відхилення не більше ± 50 Гц для інструментів $20\text{--}40$ кГц), жорстким кріпленням і відсутністю паразитних мод. Корисні функції: автоматична підтримка амплітуди за навантаженням, моніторинг активної/реактивної потужності, контроль температури в зоні зрізу [12, 14, 37].

6. *Тип траєкторії та геометрія інструмента.* Гільйотинні схеми забезпечують відтворюваність у порціонуванні (сири, торти), дискові — безперервність для рулонних/плитних виробів; дровові леза мінімізують площу контакту. Геометрія клина (товщина, кут загострення, радіус притуплення) впливає на локальний розподіл напружень; тонке лезо з малим радіусом дає меншу F_c , але вимагає точнішого узгодження мод та контролю надійності [16, 31, 33].

7. *Методика налаштування та контроль якості.*

1. Первинний пошук режимів: фіксувати f , варіювати A та v (план типу центральний композиційний) з оцінкою F_c , w , шорсткості зрізу та площі «мазків».

2. Валідація резонансу та амплітуди під навантаженням; відхилення частоти $>\pm 50$ Гц коригувати змінням маси/довжини інструмента.

3. Температурне кондиціонування заготовки до стабільного ядрового значення; уникати конденсації водяної пари на поверхні.

4. Гігієнічний контроль: вбудовані лічильники часу різання, моніторинг активної потужності як індикатор засмічення/налипання; інтервали СІР за фактичним станом [4, 8, 10].

Таблиця 9. Орієнтовні діапазони технологічних параметрів для типових категорій продуктів

Категорія продукту	f , кГц	A , мкМ	v , $\text{мм}\cdot\text{с}^{-1}/\text{М}\cdot\text{с}^{-1}$	α , $^\circ$	T , $^\circ\text{C}$
М'які/напівм'які сири	20—30	20—40	80—200	5—10	4—10
Тверді сири	20—30	15—30	60—150	5—12	6—12
Торти/мусові десерти	20—40	15—35	80—250	5—15	8—16
Желейні/карамельні маси	20—40	10—25	100—300	5—10	0—6
Батончики з шарами (нуга/карамель)	20—40	20—40	0,2—0,8 (диск/дріт)	5—10	8—14

Позначення: f — частота; A — амплітуда на країці; v — швидкість; α — кут атаки; T — температура продукту.

Примітка: (i) амплітуда наведена на країці леза під навантаженням; (ii) значення слід уточнювати експериментально для конкретної рецептури та геометрії.

Гігієна і санітарія. Гігієнічність вузла ультразвукового різання (УЗ-різання) визначається поєднанням трьох факторів:

1. Конструктивний гігієнічний дизайн і матеріали.
2. Валідована програма санітарного оброблення з моніторингом.
3. Керування енергоспоживанням і простоями лінії.

Нижче узагальнено вимоги та практичні орієнтири для харчових виробництв, що застосовують УЗ-різання [4, 8, 10].

1. Гігієнічний дизайн і матеріали. Ключові принципи: відсутність застійних зон, дренажування з мінімальними горизонтальними площинами, радіуси замість гострих кутів, гладкі поверхні, швидке розбирання без інструментів, ізоляція приводів і проводки від зони продукту. Для ріжучих інструментів використовують титан або нержавіючі сталі харчового класу; ущільнення — з матеріалів, стійких до мийних розчинів і температури [22, 23]. Детальніше в табл. 10.

Таблиця 10. Вимоги гігієнічного дизайну для вузлів УЗ-різання (орієнтири для проектування і аудиту)

Вузол	Конструктивна вимога (гігієна)	Орієнтир/ціль	Примітка
Сонотрод/ніж	Однорідний матеріал (Ti-6Al-4V або AISI 316L), без щілин, плавні переходи	Шорсткість $Ra \leq 0,8$ мкм; радіуси ≥ 3 мм	Знімна конструкція для миття поза лінією
Тримачі, рама	Зварні шви без пор, відкрита рама, нахил для дренажу	Ухил $\geq 3^\circ$; відсутні «кишені»	Дренажні отвори з фасками
Захисні кожухи	Прозорі, без щілин, швидкознімні	Фіксатори без інструментів	Витримують багаторазові цикли SIP
Ущільнення	EPDM/FKM/PTFE харчового класу	Сумісність з лужними/кислими мийниками; температура до 80—90 °C	Профіль без застійних порожнин
Електро- та пневмо-компоненти	Винесені з зони продукту, гладкі кабель-канали	Ступінь захисту IP66–IP69	Роз'ємні з'єднання поза «харчовою» зоною
Транспортування продукту	Судільні PU-стрічки або модульні пластини з радіусними кромками	Легкознімні, з мінімумом кріплень	Ролики зі звуженням для стоку

2. Санітарне оброблення: програма та валідація. Санітарна програма має бути ризик-орієнтованою (НАССР) і включати етапи сухого очищення, попереднього змиву, мийки (лужної/пінистої), кислотного етапу за потреби, ополіскування, дезінфекції та верифікації чистоти. Для УЗ-вузлів важливо знімати сонотроди і ножі для миття поза лінією (COP) або забезпечити їхню повну обробку на місці (SIP) без тінювих зон [22, 23].

Приклад потоку санітарної оброблення вузла УЗ-різання:

Сухе прибирання → Попередній змив → Лужна мийка → Кислотний етап → Ополіскування → Дезінфекція → Верифікація

Моніторинг чистоти. Для швидкої верифікації застосовують АТР-тести та мазки на загальну мікрофлору; періодично — контактні пластини/відбитки в критичних точках (крайка, зона кріплення, ущільнення). Критерії приймання: відсутність видимого бруду/піни, значення АТР нижче порогів, мікробіологічні показники в нормі.

Тренди АТР і відмов допомагають переводити прибирання на обслуговування за фактичним станом (condition-based cleaning).

3. Ризики контамінації та їх мінімізація:

- *адгезія та крихти*. УЗ-різання, зазвичай, зменшує налипання і крихтування, отже, зменшує вторинне забруднення; критичні випадки — липкі муси та глазурі з високим вмістом цукрів. Допомагають нижча температура продукту, мікросерейтор, покриття PTFE/DLC [1—4, 8].

- *аерозолі/шум*. Високочастотні гармоніки можуть створювати локальний шум; застосовують прозорі екрани та акустичне демпфування. Слід валідувати, що бризки і аерозолі не досягають зон відкритого продукту нижче по потоку [23].

- *перехресна контамінація*. Для асортиментів з алергенами — повне розділення інструментів/ущільнень і маркування; санітарні зміни з валідацією «чисто-після-алергенів» [23].

4. Показники та контроль ефективності санітарії

Таблиця 11. КРІ гігієни та санітарії для УЗ-різання [22, 23] (знаки — очікуваний напрям змін порівняно зі звичайним ножем)

КРІ	Визначення/одиниці	Очікуваний ефект УЗ
Масова частка відходів	% від маси продукту	Зменшується за рахунок чистішого зрізу
Площа налипання на лезі	мм ² на 100 зрізів	Суттєво зменшується при оптимальних А, Т
Частота санітарних зупинок	цикли на зміну	Зменшується при меншому налипанні
Тривалість санітарної зупинки	хв	Зменшується за рахунок швидкознімних вузлів
АТР-індекс у критичних точках	відн. од.	Знижується до порогів приймання

Висновки. УЗ-різання є зрілою технологією промислового виробництва широкого спектра харчових продуктів.

Промислова придатність ультразвукового різання харчових продуктів визначається керованою синергією конструкції інструмента та режимів збудження. Робота в резонансному діапазоні 20—40 кГц із контрольованою амплітудою крайки 10—50 мкм, за умови точного узгодження інструмента і мінімізації статичного притиску, стабільно знижує силу та питому роботу різання, обмежує налипання і забезпечує чисту поверхню зрізу для широкого спектра систем — від м'яких сирів і мусів до шарових кондитерських виробів. Вирішальним є спільний добір амплітуди, швидкості та температури продукту з урахуванням його реології й шаруватості; параметри мають калібруватися під реальне навантаження за фактичною амплітудою на крайці, а не за вихідним сигналом генератора.

Практична оптимізація повинна спиратися на експериментальні плани, які одразу враховують межі теплового впливу та критерії якості (шорсткість, крихтування, стабільність геометрії порцій). Для липких і пластичних матриць доцільним є помірне охолодження та вищі амплітуди в безпечному тепловому вікні; для крихких — обмеження амплітуди та швидкості з акцентом на геометрію леза. Вбудований моніторинг амплітуди, активної/реактивної потужності та температури в зоні контакту підвищує відтворюваність, гігієнічність і енергоефективність процесу.

Подальший прогрес потребує стандартизації опису режимів (вимір амплітуди саме на крайці, уніфіковані метрики сили й роботи різання) та розвитку предиктивних моделей, що пов'язують рецептурно-реологічні характеристики з оптимальними режимами і якістю зрізу. Перспективними є інтегровані сенсори для ін-лайн контролю температури й амплітуди, моделі зворотного зв'язку для утримання «робочого вікна» параметрів та оцінка довготривалого впливу на мікробіологічну безпеку і збереженість свіжорізнаних продуктів. Таким чином, ультразвукове різання слід розглядати як керований інженерний процес із чітко визначеним простором оптимальних параметрів, а не як фіксований набір налаштувань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Arnold, G., Leiteritz, L., Zahn, S., & Rohm, H. (2009). Ultrasonic cutting of cheese: Composition affects cutting work. *International Dairy Journal*, 19(6–7), 314–320. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.11.007>.
2. Brown, T., James, S. J., & Purnell, G. L. (2005). Cutting forces in foods: Experimental measurements. *Journal of Food Engineering*, 70(2), 165–170. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.09.022>.
3. Chemat, F., Zill-e-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.ulsonch.2010.11.023>.
4. Chandrapala, J., Oliver, C., Kentish, S., & Ashokkumar, M. (2012). Ultrasonics in food processing — Food quality assurance and food safety. *Trends in Food Science & Technology*, 26(2), 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.01.010>.
5. Gallego-Juárez, J. A., & Graff, K. F. (Eds.). (2015). *Power ultrasonics: Applications of high-intensity ultrasound*. Woodhead/Elsevier.
6. Gallego-Juárez, J. A., Graff, K. F., & Lucas, M. (Eds.). (2023). *Power ultrasonics* (2nd ed.). Woodhead/Elsevier.
7. Goh, S. M., Charalambides, M. N., & Williams, J. G. (2005). On the mechanics of wire cutting of cheese. *Engineering Fracture Mechanics*, 72(6), 931–946.
8. Jambrak, A. R., Mason, T. J., & Paniwnyk, L. (2019). Sono-physical and sono-chemical effects of ultrasound: Primary mechanisms in food processing. *Trends in Food Science & Technology*, 92, 22–34. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.030>.
9. Kamyab, I., Chakrabarti, S., & Williams, J. G. (1998). Cutting cheese with wire. *Journal of Materials Science*, 33(11), 2763–2770. <https://doi.org/10.1023/A:1017517332112>.
10. Kentish, S. E., & Feng, H. (2014). Applications of power ultrasound in food processing. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5, 263–284. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030212-182537>.
11. Littmann, W., Storck, H., & Wallaschek, J. (2001). Sliding friction in the presence of ultrasonic oscillations: Superposition of longitudinal oscillations. *Archive of Applied Mechanics*, 71(8), 549–554. <https://doi.org/10.1007/s004190100160>.
12. Nakamura, K. (Ed.). (2012). *Ultrasonic transducers: Materials and design for sensors, actuators and medical applications*. Woodhead/Elsevier.
13. Schneider, Y., Zahn, S., Schindler, C., & Rohm, H. (2009). Ultrasonic excitation affects friction interactions between food materials and cutting tools. *Ultrasonics*, 49(6–7), 588–593. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2009.03.001>.
14. Schneider, Y., Zahn, S., & Rohm, H. (2008). Power requirements of the high-frequency generator in ultrasonic cutting of foods. *Journal of Food Engineering*, 86(1), 61–67.
15. Schneider, Y., Zahn, S., & Rohm, H. (2010). Ultrasonic cutting of foods. In H. Feng, G. V. Barbosa-Cánovas, & J. Weiss (Eds.). *Ultrasound technologies for food and bioprocessing* (pp. 211–237). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7472-3_9.
16. Schuldt, S., Arnold, G., Kowalewski, J., Schneider, Y., & Rohm, H. (2016). Analysis of the sharpness of blades for food cutting. *Journal of Food Engineering*, 188, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.04.022>.
17. Schuldt, S., Kowalewski, J., & Rohm, H. (2017). High-speed cutting of foods: Development of a special testing device. *Journal of Food Engineering*, 205, 12–20.

18. Schuldt, S., Kowalewski, J., & Rohm, H. (2018). High-speed cutting of foods: Cutting behavior and initial cutting forces. *Journal of Food Engineering*, 235, 40—48.
19. Storck, H., Littmann, W., Wallaschek, J., & Mracek, M. (2002). The effect of friction reduction in presence of ultrasonic vibrations and its relevance to travelling wave ultrasonic motors. *Ultrasonics*, 40(1—8), 379—383.
20. Zahn, S., Schneider, Y., & Rohm, H. (2006). Ultrasonic cutting of foods: Effects of excitation magnitude and cutting velocity on the reduction of cutting work. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7(4), 288—293. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2006.04.004>.
21. Zahn, S., Schneider, Y., Zücker, T., & Rohm, H. (2005). Impact of excitation and material parameters on the efficiency of ultrasonic cutting of bakery products. *Journal of Food Science*, 70(9), E510—E513. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb08311.x>.
22. EHEDG. (2018). Doc. 8: Hygienic equipment design criteria (3rd ed.). EHEDG.
23. EHEDG. (2024). Doc. 13: Hygienic design of equipment for open processing (3rd ed.). EHEDG.
24. Feng, H., Barbosa-Cánovas, G. V., & Weiss, J. (Eds.). (2011). *Ultrasound technologies for food and bioprocessing*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7472-3>.
25. Gutiérrez-Méndez, N., Aguilar, C. N., Nevárez-Moorillón, G., & Viuda-Martos, M. (2020). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 335—343. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.001>.
26. Pathak, P., Prasad, K., & De, K. (2017). Applications of ultrasound in processing of liquid foods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 47—64. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.016>.
27. Povey, M. J. W., & Mason, T. J. (Eds.). (1998). *Ultrasound in food processing*. Springer.
28. Povey, M. J. W., & McClements, D. J. (Eds.). (1988). *Ultrasonic techniques in food and beverage analysis*. Springer.
29. Atkins, A. G., & Xu, X. (2005). Fracture mechanics of cutting soft solids. *Engineering Fracture Mechanics*, 72(6), 839—859. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2004.07.016>.
30. Dowgiałło, E. (2005). Modelling of cutting forces during fish processing. *Journal of Food Engineering*, 66(3), 311—316. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.009>.
31. Kowalewski, J., Schuldt, S., & Rohm, H. (2019). A review of research relating to food slicing in industrial slicing. *Journal of Food Engineering*, 263, 158—170.
32. McCarthy, C. T., Hussey, M., & Gilchrist, M. D. (2007). On the sharpness of straight edge blades in cutting soft solids: Part I — Indentation experiments. *Engineering Fracture Mechanics*, 74(14), 2205—2224. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2006.11.016>.
33. Purnell, G. L., Brown, T., & James, S. J. (2005). Cutting performance of blades in meat processing. *Meat Science*, 70(1), 163—170. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.12.004>.
34. Schuldt, S., Kowalewski, J., & Rohm, H. (2020). High-speed cutting with involute blades: Experimental research on cutting forces and slicing quality. *Journal of Food Engineering*, 282, 110013.
35. Endrino, J. L., Fox-Rabinovich, G. S., & Gey, C. (2006). Hard coatings for cutting tools and wear protection. *Surface and Coatings Technology*, 200(7), 1911—1917. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.08.126>.
36. González-Ausejo, J. et al. (2019). Degradation of PTFE non-stick coatings for application in the food service industry. *Food and Bioprocess Technology*, 115, 159—169. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.02.011>.
37. Lucas, M. (2015). High-power ultrasonic horns and transducers. In J. A. Gallego-Juárez & K. F. Graff (Eds.). *Power ultrasonics* (pp. 145—184). Woodhead/Elsevier.
38. Nakamura, K. (2006). Ultrasonic transducers — Materials and design. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 114(1332), 533—540. <https://doi.org/10.2109/jcersj.114.533>.
39. Awad, T. et al. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 48(2), 410—427. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.004>.
40. Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., & Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Food Research International*, 142, 110246. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110246>.
41. Chemat, F., & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology — Processing, preservation and extraction. *Trends in Food Science & Technology*, 21(7), 277—286. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.11.023>.

42. Feng, H., Yang, W., & Hielscher, T. (2022). Application of high-intensity ultrasound to improve food processing and preservation. *Foods*, 11(1), 122. <https://doi.org/10.3390/foods11010122>.
43. Jayasooriya, S. D., Torley, P. J., D'Arcy, B. R., & Bhandari, B. R. (2007). Effect of ultrasound on meat properties. *Meat Science*, 75(2), 318—328. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.025>.
44. Koubaa, M., Rosello-Soto, E., & Barba, F. J. (2020). Application of ultrasound technology in processing of ready-to-eat foods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 62—74. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.006>.
45. Leong, T. S. H., Juliano, P., & Ashokkumar, M. (2015). Ultrasound-assisted food processing. In C. M. Galanakis (Ed.), *Emerging technologies for food processing* (2nd ed., pp. 47—69). Academic Press.
46. Mason, T. J., & Lorimer, J. P. (2002). *Applied sonochemistry: The uses of power ultrasound in chemistry and processing*. Wiley-VCH.
47. Povey, M. J. W. (2017). *Ultrasonic techniques for fluid characterization* (2nd ed.). Academic Press.
48. Raso, J., & Condon, S. (2000). Microwaves and ultrasound for microbial inactivation in food. *Journal of Food Engineering*, 49(2—3), 147—156. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00227-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00227-X).
49. Sun, D.-W. (Ed.). (2014). *Emerging technologies for food processing* (2nd ed.). Academic Press.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Харчова промисловість» запрошує вас до публікації наукових праць.

Засновник і видавець журналу: Національний університет харчових технологій.

Журнал затверджений наказом МОН України (постанова № 32 від 15.01.2018) як наукове видання з технічних наук.

У журналі висвітлюються результати науково-дослідних робіт з технології харчових продуктів, хімічних, біохімічних, мікробіологічних процесів, апаратів, обладнання, автоматизації харчових виробництв та економіки харчової промисловості.

Обсяг статей — до 15 машинописних аркушів (до 15000 друкованих знаків).

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті мають бути підготовлені з урахуванням Постанови Президії ВАК України № 7-05/6 «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України». Друкуються наукові статті, які мають такі необхідні елементи: постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання певної проблеми і на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

До публікації приймаються не публіковані раніше статті, що містять результати фундаментальних теоретичних розробок та найзначніших прикладних досліджень викладачів, наукових співробітників, докторантів, аспірантів і студентів. Усі статті підлягають обов'язковому рецензуванню провідними спеціалістами у відповідній галузі харчових технологій, яких призначає науковий редактор журналу.

Рукопис статті надсилається у двох примірниках, українською мовою, включаючи таблиці, рисунки, список літератури.

Статті подаються у вигляді **вичитаних** роздруків на папері формату А4 (поля з усіх сторін по 2 см, шрифт Arial або Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word) на електронному носії. На електронному носії не повинно бути інших версій та інших статей, у тексті статті — порожні рядки. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані.

На першій сторінці наводяться: у лівому верхньому куті — шифр УДК (напівжирним шрифтом), нижче ініціали і прізвища авторів (напівжирним шрифтом), наукові ступені авторів, назва установи, де працює автор; далі — назва статті великими напівжирними літерами, під назвою — анотація українською мовою з ключовими словами (5—6 слів/ключових словосполучень) набрана світлим курсивом; фраза «**Ключові слова**» — напівжирним шрифтом.

У кінці першої сторінки, під короткою рисою, ставиться знак авторського права, ініціали, прізвища авторів, рік.

Матеріали, представлені у статті, мають бути розділені на основні змістові розділи, такі як: постановка проблеми, огляд літератури, мета досліджень, матеріали та методи, результати досліджень, висновки. Кожен із наведених розділів статті починається з нового абзацу («**Постановка проблеми**», «**Огляд літератури**», «**Мета досліджень**», «**Матеріали і методи**», «**Результати досліджень**», «**Висновки**» — напівжирним шрифтом).

Після тексту статті в алфавітному або порядку згадування в тексті наводиться список літературних джерел (кожне джерело з абзацу). Бібліографічні описи оформляються згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання». У тексті цитоване джерело позначається у квадратних дужках цифрою, під якою воно стоїть у списку літератури. Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на роботи останніх років.

Прізвища зарубіжних авторів у тексті статті треба наводити в українській транскрипції.

Після списку літератури наводиться анотація та ключові слова (Summary) англійською мовою (розмір анотації не менше 1800 знаків, має містити коротку інформацію по кожному із основних змістових розділів); фраза «**Keywords**» — напівжирним шрифтом.

Усі анотації мають містити коротку інформацію щодо об'єкта та методик досліджень з наведенням основних результатів роботи та рекомендаціями щодо сфери їх застосування.

Після тексту анотацій та ключових слів наводиться фраза «Одержана редколегією (дата)» (набраним світлим курсивом). За дату одержання статті вважають дату надходження її до редакції.

Роздрукований варіант статті підписують усі автори.

У разі одержання статті, оформленої з порушенням запропонованих вимог, редакція статтю не ретує. За необхідності доопрацювання статті відповідно до зауважень рецензента авторам направляється екземпляр рукопису, який разом із рецензією, відповіддю рецензентові, двома екземплярами виправленої статті та електронним носієм з виправленим текстом слід повернути до редакції.

Таблиці виконувати у Microsoft Office Word в форматі DOC. Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Якщо таблиця одна, то дається тільки заголовок (без слова «Таблиця»). Слово «Таблиця» і номер — курсивним шрифтом, заголовок — напівжирним. Таблиці мають бути закритими — з боковими, нижньою і горизонтальними лініями у полі таблиці.

Ілюстрації мають бути виконані ретельно, в програмі CorelDraw або будь-якому іншому графічному редакторі, на білому папері й розміщені в тексті та в окремих файлах (формати CDR, TIF, JPG; роздільна здатність не менше 300 dpi).

Фотографії друкуються лише у разі крайньої потреби, вони мають бути чіткими, контрастними, виконаними на білому фотопапері, розмірами 6×9 см.

Підписи до рисунків набираються на окремій сторінці або безпосередньо під рисунками прямим напівжирним шрифтом.

Повторення одних і тих самих даних у тексті, таблицях і на рисунках не допускаються.

Формули вставляються прямо в текст за допомогою редактора формул. Нумерація формул — арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки.

Використовувані в статті фізичні, хімічні, технічні та математичні терміни, одиниці фізичних величин та умовні позначення мають бути загальноприйнятими. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

До статей додаються: виписка з протоколу засідання кафедри (підрозділу) з рекомендацією роботи до друку; відомості про авторів (прізвище, повне ім'я та по батькові, науковий ступінь, місце роботи, номери контактних телефонів, електронна адреса), кафедральний висновок/експертний висновок (для статей сторонніх організацій), заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань.

Головний редактор журналу: доктор технічних наук, професор

Олександр ГАВВА

Відповідальний секретар журналу: кандидат технічних наук, доцент

Тетяна ОСЬМАК

Контактні телефони: міський — (044) 287-93-07, внутрішній — 93-07

E-mail: hpnuht@ukr.net

Наукове видання

ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ

Науковий журнал

№ 38

Журнал «Харчова промисловість» затверджений наказом МОН України (постанова № 32 від 15.01.2018) як наукове видання з технічних наук.
Ресестаційне свідоцтво: серія КВ № 6890 від 23.01.2003.
Засновник і видавець: Національний університет харчових технологій.

Журнал є продовженням міжвідомчого тематичного збірника «Харчова промисловість», заснованого в 1965 р. Виходить двічі на рік.

Статті друкуються в авторській редакції.

Відповідальний редактор журналу О. Гавва
Відповідальний секретар Т. Осьмак

Комп'ютерна верстка: І. Максименко

Підп. до друку 22.12.2022 р. Формат 70×100/16.
Гарнітура Times New Roman. Друк цифровий.
Ум. друк. арк. 11,45. Обл.-вид. арк. 12,32.
Наклад 100 прим. Вид. № 02/25. Зам. № 23-16

НУХТ, 01601, Київ-33, вул. Володимирська, 68
Свідоцтво про реєстрацію серія ДК № 1786 від 18.05.2004