



2022

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 28 № 2

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

КИЇВ ✧ НУХТ ✧ 2022

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

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

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

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

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

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

Editorial office address:

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

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Minutes of meeting # 9 from 28th of April, 2022

© NUFT, 2022

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

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

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

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

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

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

Адреса редакції:

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

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій.
Протокол № 9 від 28 квітня 2022 року

© НУХТ, 2022

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор

Editor-in-Chief

Олександр Шевченко

Oleksandr Shevchenko

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Відповідальний секретар

Accountable secretary

Анастасія Шевченко

Anastasiia Shevchenko

канд. техн. наук, доц., Україна

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

Члени редакційної колегії:

Агота Гедре Райшене

Agota Giedre Raisiene

д-р екон. наук, Литва

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

Атанаска Тенєва

Atanaska Teneva

д-р екон. наук, доц., Болгарія

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

Анатолій Зайнчковський

Anatoliy Zainchkovskiy

д-р екон. наук, проф., Україна

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

Анатолій Ладанюк

Anatoliy Ladanyuk

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Андрій Маринін

Andrii Marynin

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

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

Браян Мак Кенна

Brian McKenna

д-р техн. наук, проф., Ірландія

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

Валерій Мирончук

Valerii Myronchuk

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Василь Кишенько

Vasyl Kyshenko

канд. техн. наук, проф., Україна

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

Василь Пасічний

Vasyl Pasichnyi

д-р техн. наук, проф., Україна

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

В'ячеслав Івашук

Vyacheslav Ivaschuk

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Віктор Стабніков

Viktor Stabnikov

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Володимир Зав'ялов

Volodymyr Zavialov

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Галина Колісник

Halyna Kolisnyk

д-р екон. наук, проф., Україна

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

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

ЗМІСТ

Безпека харчових продуктів і охорона праці

Романовська Т. І., Осейко М. І., Романовська Н. І., Романовський Н. О. Основні вимоги до систем управління безпечністю промислового харчового виробництва

Біотехнології

Пирог Т. П., Ключка І. В., Ключка Л. В. Вплив інактивованих клітин конкурентних мікроорганізмів на біологічну активність поверхнево-активних речовин *Rhodococcus erythropolis* IMB Ac-5017

Економіка, менеджмент і маркетинг

Кундєєва Г. О., Скопенко Н. С. Стійкість розвитку: продовольча безпека та безпека харчування як результат стійкості продовольчої системи

Шеремет О. О., Гринюк Ю. М. Типові характеристики HR-проектів та їх пілотних версій

Механічна та електрична інженерія

Балута С. М., Копилова Л. О., Куєвда Ю. В., Чорний Ю. А., Куєвда В. П., Зінкевич П. О. Системи електрозабезпечення промислових і цивільних об'єктів з використанням відновлювальних джерел енергії та накопичувачів

Філоненко В. М. Діаметр паропроводу: теплоенергетичний аспект

Слюсенко А. М., Пономаренко В. В., Блаженко С. І., Хитрий Я. С. Дослідження процесу розпилення рідини за допомогою CFD-технологій

Харчові технології

Дорохович В. В., Михальська Л. В. Визначення впливу насіння чіа на якісні показники здобного печива на цукрі і фруктозі

Сімахіна Г. О., Науменко Н. В., Межубовський О. М. Культивовані гриби — джерело нутрієнтів для виробництва харчових продуктів та дієтичних добавок

Рубанка К. В., Шевченко О. Ю. Застосування картопляної мезги у технології снєків

Башта А. О., Івчук Н. П., Бажай-Жежерун С. А. Дослідження технології халви оздоровчого призначення

Адамчук Л. О., Постойенко Г. В., Баль-Прилико Л. В., Двикалюк Р. М., Антонів А. Д., Пилипко К. В. Дослідження меду натурального на вміст залишків антибіотиків

Гойко І. Ю., Стеценко Н. О. Дослідження впливу фітокомпозиції антиоксидантної дії на комплексну оцінку якості йогурту

CONTENTS

Food Products Safety and Occupational Health

7 Romanovska T., Oseiko M., Romanovska N., Romanovskiy N. Basic requirements for safety management systems of industrial food production

Biotechnologies

24 Pirog T., Kliuchka I., Kliuchka L. Influence of inactivated cells of competitive microorganisms on the biological activity of *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017 surfactants

Economy, Management and Marketing

36 Kundieieva H., Skopenko N. Sustainability of development: food security and nutrition security as a result of sustainability of the food system

54 Sheremet O., Hryniuk Y. Typical characteristics of HR-projects and their pilot versions

Mechanical and Electrical Engineering

63 Baluta S., Kopilova L., Kuievda Iu., Chornyi Y., Kuevda V., Zinkevych P. Electrical supply systems for industrial and civil facilities using renewable energy sources and accumulators

74 Filonenko V. Steam pipe diameter: heat energy aspect

90 Sliusenko A., Ponomarenko V., Blazhenko S., Khitriy Ya. Investigation of the process of spraying liquid using CFD-technologies

Food Technologies

108 Dorohovych V., Mykhalska L. Research of the influence of chia seeds on the quality indicators of buttery cookies with sugar and fructose

118 Simakhina G., Naumenko N., Mezhubovsky O. Cultivated mushrooms as a source for production of foodstuffs and dietetic additives

132 Rubanka K., Shevchenko O. Application of potato pulp in technology of snacks

142 Bashta A., Ivchuk N., Bazhay-Zheherun S. The research of the technology of halva for health purpose

153 Adamchuk L., Postoienko H., Bal-Prylypko L., Dvykaliuk R., Antoniv A., Pylypko K. Research of the content of antibiotic residues in natural honey

163 Goyko I., Stetsenko N. Study of the influence of a phytocomposition with antioxidant properties on comprehensive assessment of yogurt quality

- Пасічний В. М., Шубіна Є. А., Тищенко В. І., 173 Pasichnyi V., Shubina Y., Tischenko V., Bozh-
Божко Н. В., Мороз О. О. Дослідження про-
дуктів переробки насіння конопель для вико-
ристання у м'ясних продуктах
ko N., Moroz O. Research of hemp seed by-pro-
ducts for use in meat products

BASIC REQUIREMENTS FOR SAFETY MANAGEMENT SYSTEMS OF INDUSTRIAL FOOD PRODUCTION

T. Romanovska, M. Oceiko

National University of Food Technologies

N. Romanovska

State Institution "Institute for Economics and Forecasting of National Academy of Sciences of Ukraine"

N. Romanovskyi

Taras Shevchenko National University of Kyiv

Key words:

*Food safety
Hygienic practices
Sanitary and hygienic
requirements
Safety management
system
Hazardous substances
Industrial production*

Article history:

Received 03.03.2022

Received in revised form
18.03.2022

Accepted 13.04.2022

Corresponding author:

T. Romanovska

E-mail:

rombiotann@ukr.net

ABSTRACT

The article is devoted to basic sanitary and hygienic requirements to industrial production of food products. Implementation of sanitary and hygienic requirements makes it easier for the enterprise to implement safety and quality management systems, such as ISO 22000, FSSC 22000, HACCP, IFS, BRC, SQF, Global GAP, and also standards of Dutch HACCP countries and corporations. Sanitary and hygienic requirements are the basis for the mentioned safety management systems.

Sanitary and hygienic requirements to production processes are described in principles of the Code of Alimentarius, procedures of proper industrial practice GMP and standard sanitary working procedures (SSWP).

Minimum basic requirements are described in GMP or SSWP, to support hygiene of production processes and media, to prevent the entry of hazardous substances into the product or the action of dangerous factors on the product. For each enterprise it is necessary to detail each stage of flow of material from the supplier to production, at the production itself and on the way to the consumer, and to provide information about conditions of handling of the product after unpackaging and before consumption to the consumer. Product safety is controlled "from field to table".

The analysis of basic sanitary and hygienic requirements concerning food safety, which are described in modern standards concerning safety of food product produced in industrial conditions, was carried out. Standard sanitary working procedures for food production ensure the quality and safety of products at all stages of production. Sanitary and hygienic requirements define the location and installation of production facilities, equipment of control facilities, rules of equipment cleaning and waste management, policy of staff work culture. Sanitary and hygienic procedures at each food company are detailed regarding the sequence of execution and list of responsible persons and are necessary for the sustainable production of safe food products.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-2-3

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕЧНІСТЮ ПРОМИСЛОВОГО ХАРЧОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Т. І. Романовська, М. І. Осейко

Національний університет харчових технологій

Н. І. Романовська

Державна установа «Інститут економіки та прогнозування НАН України»

Н. О. Романовський

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Статтю присвячено базовим санітарно-гігієнічним вимогам до промислового виробництва харчового продукту. Виконання санітарно-гігієнічних вимог спрощує впровадження на підприємстві систем управління безпечністю і якістю продукції, таких як ISO 22000, FSSC 22000, HACCP, IFS, BRC, SQF, Global GAP, а також стандартів країн і корпорацій Datch HACCP. Санітарно-гігієнічні вимоги є підґрунтям для згаданих систем управління безпечністю.

Санітарно-гігієнічні вимоги до виробничих процесів розкриті у принципах кодексу Аліментаріус, процедурах належної виробничої практики GMP та стандартних санітарних робочих процедурах ССРП. Мінімальні базові вимоги щодо підтримання гігієни виробничих процесів і середовищ, недопущення потрапляння небезпечних речовин у продукт чи дії небезпечних чинників на продукт викладені у GMP або у ССРП. Для підприємства необхідно деталізувати кожний етап надходження матеріальних потоків від постачальника на виробництво, на самому виробництві та на шляху до споживача, надавати інформацію споживачеві про умови поводження з продуктом після розпаковування і до споживання. Відстеження безпечності продукту здійснюють «від лану до столу».

Проведено аналіз базових санітарно-гігієнічних вимог щодо безпечності харчових продуктів, які закладено в сучасних стандартах щодо безпечності харчового продукту, виробленого промисловим способом. Стандартні санітарні робочі процедури виробництва харчового продукту забезпечують якість і безпеку продукту на всіх етапах виробництва. Санітарно-гігієнічні вимоги обумовлюють розташування й облаштування виробничих приміщень, оснащення засобами контролю, правила очищення обладнання та поводження з відходами, політику щодо культури роботи персоналу. Санітарно-гігієнічні процедури на кожному харчовому підприємстві є деталізованими щодо послідовності виконання та переліку відповідальних осіб і необхідні для сталого виробництва безпечного харчового продукту.

Ключові слова: *безпеку харчових продуктів, гігієнічні методи, санітарно-гігієнічні вимоги, система управління безпечністю, небезпечні речовини, промислове виробництво.*

Постановка проблеми. Безпечність і якість харчового продукту є невід'ємними складовими характеристиками товару на ринку, що регламентуються, з одного боку, чинними нормативними документами та напрацьованими стандар-

тами, а з іншого — виконуються виробником і контролюються державою. Виконання виробником висунутих у стандартах вимог щодо безпечності надає низку переваг у можливості експорту продукту, збуту у великих торговельних мережах, економічно успішному розвитку підприємства та створенні позитивного іміджу виробника.

Глобалізація світової економіки створила сприятливі умови щодо накопичення інформації про можливі небезпечні речовини чи впливи, які негативно впливають на здоров'я людини за їхнього споживання. Проблеми щодо забезпечення продовольством людства та поодинокі спалахи харчових отруєнь спонукали до створення реєстру небезпечних впливів на здоров'я людини, а також до створення системи забезпечення безпечності харчових продуктів і управлінням системою безпечності та якості. Вибір адекватної системи управління безпечністю на харчовому підприємстві є актуальною проблемою в умовах глобалізації промислового виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині функціонують вимоги HACCP щодо виробництва безпечного харчового продукту, вимоги належних виробничих/гігієнічних способів виробництва GMP/GHP (good manufacturing/hygienic practices) та стандарти, розроблені для систем управління якістю, безпечністю харчового продукту, управлінням відходами харчового виробництва ISO 9001, ISO 14001, ISO 22000, ISO 22002-1(2,3), а також стандарти країн і корпорацій Datch HACCP, продуктів IFS, BRC Food, BRC loP, GLOBALGAP, та FSSC. Стандарт GLOBALGAP, у якому детально описані процедури, хоча й поширений на сільськогосподарських виробників, однак може інтегруватися разом з іншими стандартами безпечності харчових продуктів.

Усі зазначені міжнародні стандарти мають однакову мету та відмінності у деталізації вимог, застосуванні аудиту з різними рівнями та іншою системою балів (Bomba & Susol, 2020).

Розвиток систем управління якістю товарів не обмежується лише харчовими продуктами, а поширюється й на непродовольчі товари. З розвитком промислового виробництва поступово вдосконалювалися і системи управління якістю товарів. Крім стандартів і галузевих вимог, у кожній країні створена і діє законодавча база щодо захисту прав споживачів, а також працюють виконавчі органи влади, що реалізують та контролюють виконання законів і нормативно-правових актів у цій сфері. Контроль з боку держави необхідний не лише за дотриманням стандартів безпечності, а й недопущення фальсифікації та порушень прав споживачів (Лозинська, Дем'яненко & Чупилко, 2019).

Нормативно-технічні документи діють у межах чинного законодавства, яке сприймає набутий досвід західних країн і також вдосконалюється (Зозуля, 2017).

Впровадження системи HACCP на підприємстві вимагає постійної уваги та вдосконалення технологічних процесів з метою вчасного виявлення та недопущення або обмеження небезпечних впливів чи речовин на харчовий продукт (Кузьома & Павлюк, 2019; Kushwah & Kumar, 2017).

Відслідковування безпечності харчового продукту відбувається за розробленого плану контролю, при документуванні заходів та аналізі отриманих результатів від функціонування системи управління безпечністю HACCP. На виробництві встановлення контрольних критичних точок (ККТ) та їх оновлення відбувається за будь-якої зміни в технологічному процесі чи рецептури продукту.

Постійне відстежування та аналіз показників у визначених ККТ може призвести до переведення їх у виробничий оперативний контроль (Soman & Raman, 2016).

Визначення ККТ у виробництві проводять відповідно до технології виробництва та сировини, що входить у рецептуру продукту. У статті (Argvanitoyannis & Traikou, 2005) опубліковано апаратурно-технологічні схеми виробництва борошна і манки, хліба, кексу, бісквіту, круасана, кукурудзяних пластівців, спагеті, локшини та визначено критичні точки за технологічними потоками під час виробництва.

Найбільш складним завданням є виокремлення та ідентифікація небезпек, притаманних для конкретного харчового продукту у фактичних виробничих умовах, оцінка рівня небезпеки та розробка плану НАССР щодо встановленої небезпеки. Важливо зберегти баланс між рівнем небезпечності та частотою контролювання у встановленій ККТ виявленої небезпеки, щоб досягти вироблення безпечного харчового продукту з виправданими раціональними затратами (Dzwolak, 2019).

Є підприємства, що впроваджують комплексну систему безпечності за кількома стандартизованими системами (Piira, Kosola, Hellsten, Fagerlund & Lunden, 2021). Така комплексність у відслідковуванні і регулюванні дії небезпечних факторів та вмісту небезпечних сполук виявляє їх протягом проходження всього ланцюга виробництва харчового продукту «від лану до столу», включаючи сільськогосподарських виробників товару, промислове перероблення та пакування у безпечну упаковку чи тару, зберігання продукту від виробника до роздрібного чи гуртового продавця та інформування споживача щодо поводження з розпакованим продуктом до моменту його споживання (Panghal, Chhikara, Sindhu & Jaglan, 2018).

Останніми роками питання шахрайства з харчовими продуктами стало широко обговорюваним у харчовій промисловості. Відстеження сировинних та інгредієнтних потоків у виробництві харчового продукту запобігає харчовому шахрайству, що передбачає економічно вмотивовану фальсифікацію та зловмисне зараження. Відкритість інформації стосовно ланцюга постачання матеріальних потоків сировинних компонентів зменшує вразливість безпечності харчового продукту та підвищує прихильність споживача до бренду виробника (Soon, Krzyzaniak, Shuttlewood, Smith & Jack, 2019).

Шахрайство харчових продуктів можна виявити за допомогою мас-спектрометрії негативної та позитивної іонізації FIA-HRMS високої роздільної здатності. Таким методом визначали органічні кислоти та антоціани в червоному вині, паприці, які дещо відрізняються для продуктів з різним географічним походженням (Campmajo, Saurina & Núñez, 2022)

В останні роки для таких харчових продуктів, як чай, трав'яний чай, мед, пилок, ароматичні трави, деякі спеції та харчові добавки визначені максимальні рівні концентрації піролізидинових алкалоїдів. Піролізидинові алкалоїди виявляють токсичність для розвитку та гепатотоксичність, пневмотоксичність, генотоксичність і канцерогенність. З цієї причини важливо контролювати їх появу в їжі за допомогою чутливих, селективних та екологічно чистих аналітичних методів.

Натепер високоефективна рідинна хроматографія з мас-спектрометрією є основною технікою для аналізу піролізидинових алкалоїдів у харчових продуктах (Casado, Morante-Zarceo & Sierra, 2022).

Безпечність олії та аналіз на вміст мікотоксинів, пестицидів і важких металів експресними та доступними методами є нагальною необхідністю для людства. В олію вказані речовини надходять із сировини, яка забруднюється ще на полі (Xia, Du, Lin, Huo, Qin, Wang, Qiang, Yao & An, 2021).

Впровадження інноваційних технологій вимагає визначення наявності шкідливих і корисних речовин у продукті, а також моніторинг людського організму з метою розширення знань про вплив багатокomпонентних харчових продуктів на здоров'я людини (Jeddi, Boon, Cubadda, Hoogenboom, Mol, Verhagen & Sijm, 2022).

Для ефективного оброблення сировини і виробництва безпечного продукту необхідно розвивати нові методи безпечної технологічної обробки матеріальних потоків з оцінкою ризиків появи небезпечних речовин, а також зміни вмісту поживних речовин і органолептичних властивостей (Khan, Tango, Miskeen, Lee & Oh, 2017).

Життєвий цикл харчового продукту не закінчується виробничим процесом, а продовжується тривалістю та умовами знаходження в упакованому стані, тому особливу увагу необхідно приділити пакувальним матеріалам. Так 2,2-біс(4-гідроксифеніл)пропан (бісфенол А) є дозволеним мономером, який використовують для виробництва полікарбонатних пластмас. У 2015 р. у Франції прийнято закон, що забороняє використання бісфенолу А для матеріалів, що контактують з харчовими продуктами (Dittmann, Schmid & Kemmer, 2022).

Багатошарові пластмасові упаковки чудово зберігають термін придатності харчового продукту, але їх неможливо переробити за доступною життєздатною технологією. Тому пошук шляхів сучасних і безпечних упаковок, які б зберігали придатність харчового продукту є актуальною проблемою сучасності для збереження довкілля (Matthews, Moran & Jaiswal, 2021).

Інформування про можливі небезпеки та способи ознайомлення з ними споживачів набуває сучасних форм і має відбуватися виконавчими органами влади. Недержавні організації можуть проводити просвітницьку діяльність, але здебільшого виконують її не системно (Kasza, Csenki, Szakos & Izso, 2022).

Регламент ЄС 2017/625 встановлює повноваження державного контролю з безпечності харчових продуктів. Безпечність харчових продуктів передбачає забезпечення відсутності небезпек у кормах для сільськогосподарського вирощування тварин і птахів, забезпечення здоров'я й добробуту свійським тваринам і свійським птахам, безпечного захисту рослин та органічного вирощування рослин. Вказується на те, що крайній захід реагування держоргану застосовується до харчового підприємства за порушення гігієнічних принципів під час виробництва (Rossi, Rossi, Rosamilia & Micheli, 2020).

В Україні контроль за якістю та безпечністю покладено на територіальні органи Держпродспоживслужби, які проводять перевірки планові чи позапланові (у разі звернення споживача), а відповідальність — на виробника у випадку

вітчизняного товару чи на оператора ринку за імпортування товару з-за кордону (Сьомич, 2020).

Під час розроблення стандартів на харчовий продукт затверджений галузевий комітет з певної галузі переглядає і вносить відомі на певний момент якісні показники, а головний санітарний лікар у системі Міністерства охорони здоров'я — показники безпечності для конкретного типу харчового продукту. Для кожного показника безпечності головний санітарний лікар вказує допустимі межі вмісту у харчовому продукті. За цими ж межами, що виписані у стандарті на продукт, проходить контроль безпечності харчового продукту для здоров'я людини.

Мікрофлора харчових продуктів важлива для виробників, переробників і споживачів харчових продуктів. Виробники харчових продуктів, включаючи дистриб'юторів, реагують на попит споживачів на харчові продукти, які є безпечними, свіжими та зручними у використанні. Знання про рівні бактерій у харчових системах до та після обробки, а також про вплив часу зберігання та температури на мікробну популяцію мінімально оброблених харчових продуктів дають змогу розробити рекомендації для харчової промисловості щодо впровадження планів НАССР та належної виробничої практики GMP. Попит споживачів на свіжі, здорові поживні продукти спонукав харчову промисловість шукати альтернативні технології, які можуть виробляти їжу вищої якості, забезпечувати безпеку та розумну вартість для споживача і, водночас, покращувати безпеку харчових продуктів шляхом зменшення або усунення бактеріальних патогенів харчового походження.

Залежно від каналів реалізації харчового продукту та вимог країн, куди експортують продукт, виробник впроваджує певну систему управління безпечністю та якістю харчового продукту. Системою управління безпечністю може бути як система НАССР, так і одна з аналогічних систем, зокрема стандарт ISO. Порівняння систем управління безпечністю наведено в таблиці.

Таблиця. Порівняння систем управління безпечністю харчових продуктів, (Bomba & Susol, 2020)

Назва стандарту	Структура, основні вимоги	Країна застосування стандарту
1	2	3
ISO 22000: 2005 Стандарт «Системи управління безпечністю харчових продуктів — вимоги до будь-якої організації харчового ланцюга». Охоплює всі етапи виробництва, переробки, логістики, продажів.	Містить розділи: 1. Сфера застосування. 2. Нормативні посилання. 3. Терміни та визначення. 4. Система управління безпечністю харчових продуктів. 5. Відповідальність керівництва. 6. Управління ресурсами. 7. Планування та впровадження безпечної продукції. 8. Підтвердження, верифікація та впровадження системи управління безпечністю харчових продуктів.	Застосовується в понад 167 країнах світу. Переважно в країнах ЄС, а також у Китаї, Індії, Греції, Румунії, Туреччині, Росії, Іспанії, Єгипті, Польщі, Україні.

Продовження таблиці

1	2	3
IFS (International Food Standard) (Міжнародний харчовий стандарт). Охоплює виробництво харчових продуктів (крім первинних), постачання та роздрібну торгівлю на всіх етапах, маркування та пакування продукції.	Структура, аналогічна структурі ISO 900, містить 6 розділів: 1. Відповідальність керівництва. 2. Система управління якістю та безпечністю (система HACCP, система з якості). 3. Управління та експлуатація ресурсами (людськими, санітарно-гігієнічними, виробничими приміщення тощо). 4. Планування виробничих процесів (розробка продукції, обслуговування виробничого обладнання, простежуваність параметрів тощо). 5. Вимірювання, аналіз, вдосконалення (контроль за показниками і параметрами, відкликання продукції тощо). 6. Захист продукції у післявиробничому періоді існування продукту.	Функціонує в понад 90 країнах, найпоширеніший у Німеччині, Франції, Австрії, Польщі, Швеції, Іспанії, Італії.
BRC (British Retail Consortium Global Standard) (Глобальний стандарт британської роздрібної торгівлі). Охоплює виробництво харчових продуктів і упаковки, упаковку матеріалів, зберігання та доставку продукції.	Містить сім розділів: 1. Зобов'язання вищого керівництва та постійне вдосконалення. 2. План безпечності харчових продуктів — HACCP. 3. Схема безпечності харчових продуктів та управління якістю. 4. Норми розміщення виробничих приміщень та вимоги до виробничого середовища. 5. Контроль продукції. 6. Контроль процесів. 7. Персонал та вимоги до нього.	Застосовують у понад 130 країнах, переважно в ЄС, Великій Британії та США.
FSSC 22000: 2010 (Food Safety System Certification). Охоплює виробників продуктів: доготовляного зберігання, швидкопсувних, а також упаковки та харчових інгредієнтів	Містить чотири частини: Частина 1. Вимоги до організацій, які мають намір пройти сертифікацію. Частина 2. Вимоги та правила до органів сертифікації. Частина 3. Вимоги та правила акредитації. Частина 4. Правила діяльності керівництва, що складається з представників зацікавлених сторін.	Застосовують у понад 140 країнах світу. Здебільшого в ЄС, а також у Китаї, Індії, Канаді, Греції, Румунії, Туреччині, Росії, Україні та деяких країнах Африки.
Global GAP (Global good agricultural practice) (Світова належна сільськогосподарська практика). Охоплює рослинництво, тваринництво; розведення водних тварин і рослин.	Містить десять розділів: 1. Охорона праці та виробнича санітарія. 2. Охорона навколишнього середовища. 3. Аналіз виробничих ризиків. 4. Порядок розгляду скарг. 5. Процедури відстеження та повернення продукції. 6. Походження та якість насіннєвого матеріалу.	Використовують у понад 100 країнах. Найбільше сертифікованих виробників є в Італії, Іспанії та Нідерландах.

Продовження таблиці

1	2	3
	7. Придатність ґрунтів для сільськогосподарського виробництва. 8. Аналіз ґрунту та адекватність розробленої системи внесення добрив. 9. Відповідність застосовуваної системи захисту рослин — впровадження інтегрованої системи захисту. 10. Стан і правильність вжитих заходів щодо очищення, доопрацювання та зберігання продукції.	
SQF (Safe Quality Food) (Безпечна якісна їжа). Охоплює виробництво кормів і харчових продуктів	Документ SQF CODE (7-е видання, 2-й рівень) складається з частин і модулів: Частина А: Впровадження та підтримка Кодексу SQF. Частина В: Кодекс SQF (містить 16 модулів щодо належної виробничої практики для кожної конкретної галузі). Має три рівні сертифікації: 1) основи безпеки харчових продуктів; 2) сертифікація планів безпеки харчових продуктів на основі HACCP; 3) інтегровані системи контролю якості та безпеки харчових продуктів.	Застосовується в США, Австралії, Канаді, Мексиці.

Системи управління безпечністю та стандарти безпечності харчового продукту (табл. 1) базуються на системі HACCP, принципах кодексу Аліментаріус (Кош-калда & Шелудько, 2018), процедурах належної виробничої практики GMP та стандартних санітарних робочих процедурах ССРП (Chen, Liu, Chen, Chen, Yang & Chen, 2020; Fortune, 2017). Мінімальні базові вимоги, викладені у GMP або у ССРП, до підтримання гігієни виробничих процесів і середовищ забезпечують у подальшому впроваджувати системи менеджменту безпечності і якості харчового продукту, наведені в табл. 1.

Нещодавня пандемія коронавірусу COVID-19 посилила увагу і виробників, і споживачів до особистої гігієни та гігієнічних вимог щодо виробництва харчового продукту (Faour-Klingbeil, Osaili, Al-Nabulsi, O.Taybeh, Jemni & Todd, 2022).

Мета дослідження: аналіз гігієнічних методів і виділення основних санітарно-гігієнічних вимог, які закладено в сучасних стандартах щодо безпечності харчового продукту, виробленого промисловим способом.

Матеріали і методи. Досліджено та проведено аналітичний аналіз періодичних наукових публікацій і міжнародних нормативних документів стосовно безпечності й якості харчових продуктів. У дослідженні використано методи аналізу, синтезу, індукції, дедукції, порівняння й аналогії, а також застосовували логіку і критичне мислення. Вивчено досвід впровадження та експлуатації системи HACCP на олійножирових підприємствах України, зокрема ПрАТ «Київський маргариновий завод» і ПрАТ «Вінницький олійножировий комбінат».

Викладення основних результатів дослідження. HACCP є всесвітньо визнаним стандартом для виробництва безпечних продуктів харчування, який за-

проваджений в Україні. На положеннях HACCP ґрунтуються законодавчі і директивні вимоги: Закон України «Про основні принципи і вимоги до безпеки і якості продуктів харчування» від 05.07.2017 та наказ Мінагропроду України «Про затвердження вимог до розробки, впровадження і застосування постійно діючих процедур, ґрунтованих на принципах HACCP» від 25.12.2015. План HACCP окреслює процедури контролю критичних точок керування (КТК), зокрема встановлення критичних меж параметрів у критичних точках, процедури відслідковування (моніторингу), коригувальні дії, перевірку та ведення записів (Carol, 2014).

Оскільки запровадження та сертифікація системи безпечності є добровільною і проводиться акредитованими органам, то виробник під впливом споживача самостійно обирає стандарт або кілька стандартів безпечності для запровадження у виробничих умовах. Для успішного проходження сертифікації систем безпечності обов'язково залучаються провідні технологи-інженери виробництва: від заввиробництвом, головного технолога і його технологічної служби, начальника виробничої лабораторії, начальника дільниці і до апаратників виробничих ліній. В органі, що сертифікує впроваджену систему безпечності, задіяні юристи, обізнані із законодавчою базою, інженери, гігієністи, мікробіологи та епідеміологи, а також аудитори та економісти.

Вимоги щодо дотримання безпечності харчового продукту базуються на санітарно-гігієнічних вимогах до ведення технологічних процесів (Lee & Seo, 2020). Санітарно-гігієнічні вимоги, універсальні для будь-якого стандарту безпечності харчового продукту, лише залежно від специфіки виробництва набувають конкретної послідовності відслідковування за небезпечними чинниками. На харчовому підприємстві небезпечні впливи та речовини поділяють на мікробіологічні (біохімічні), хімічні і фізичні (Shendurse & Sawale, 2019).

На підприємстві, що виробляє декілька харчових продуктів, має використовуватись система HACCP, яка враховує можливість горизонтального контролю небезпечних чинників. Небезпечні компоненти з одного виду виробництва можуть теоретично бути перенесені на інше. Звернено увагу на те, що ефективне функціонування системи безпечності HACCP досягається шляхом ретельного впровадження належної гігієнічної практики GHP (Cerf & Donnat, 2011).

Усі системи безпечності ґрунтуються на виконанні санітарно-гігієнічних вимог на всіх етапах виробництва, зберігання, транспортування, реалізації продукту. Вони містять санітарно-гігієнічні характеристики виробничих приміщень, а також процедури приймання сировинних компонентів, зберігання і використання у технологічних процесах, поводження обслуговуючого персоналу. Для успішного функціонування системи управління безпечністю харчового продукту на виробництві створюють комплекс заходів щодо функціонування, перевірки і підтвердження її дієвості. Такі заходи є стандартними санітарними робочими процедурами (ССРП), які детально описують для кожної дільниці виробництва та визначають обсяг відповідальності конкретних працівників. Структура управління системою безпечності, як правило, аналогічна структурі управління, і кількість відповідальних за певний сегмент управління налічує понад п'ять осіб, починаючи від інженера з безпечності та закінчуючи апаратником і прибиральником виробничої дільниці.

ССРП призначені контролювати мікробіологічні і хімічні небезпечні чинники та проводити заходи щодо: 1) уникнення перехресного забруднення продуктів шляхом встановлення переміщення матеріальних потоків без перетинів та обмеження пересування робітників; 2) встановлення рукомийників і пунктів дезінфекції та миття рук біля входу до виробничої зони; 3) забезпечення технічного обслуговування обладнання, його миття та дезінфекції.

Процедури, що забезпечують виробництво безпечного харчового продукту, засновані на дотриманні вимог до розташування підприємства; приміщень і цехів; зонування приміщень; водопостачання і водовідведення; вентилявання та постачання повітря; освітлення приміщень; складських приміщень; приміщень для збору й утилізації відходів, стоків і викидів; прибирання й очищення приміщень; систем контролювання шкідників; обслуговуючого персоналу, зокрема до особистої гігієни і стану здоров'я персоналу.

Вимоги до розташування підприємства передбачають розміщення виробничих потужностей на відстані від районів із забрудненим довкіллям і промисловою діяльністю, що створюють серйозну загрозу забруднення харчового продукту. Також заборонено розміщувати харчові підприємства на території, де можливі повені і немає запобіжних споруд, де велика ймовірність розмноження шкідників та ураження виробництва шкідниками, де неможливо ефективно видаляти тверді чи рідкі відходи, де немає можливості розміщувати устаткування для збирання відходів і сміття та можливої їх утилізації.

На території підприємства і поблизу заводу має проходити прибирання. Сміття мають збирати в окремому місці у контейнерах, виготовлених з непроникного матеріалу. Місця збирання сміття мають бути закриті та не допускати несанкціоноване його вилучення. На території підприємства вимоги до очищення території передбачають сортування сміття за небезпечністю та складністю переробки у позначених кольором чи іншим чином контейнерах, зокрема відходи, побічні продукти, неїстівні або небезпечні речовини тощо.

Конструкції будівель харчових підприємств мають бути виготовлені з якісних довговічних матеріалів, які легко очищувати та дезінфікувати. Будівельні конструкції мають поверхні стін, перегородок та підлог, виготовлені з непроникних нетоксичних матеріалів. Стіни та перегородки мають гладку поверхню на всій висоті для адекватного очищення. Підлоги виконані для адекватного видалення води та забруднень. Стелі та арматура, прокладена під стелею, гладкі, не повинні накопичувати бруд і сконденсовану вологу. Матеріал стелі виконано з матеріалів, що не обсіпаються та не відлущуються. Вікна і двері мають бути виконані з матеріалів, які легко мити та дезінфікувати, вони мають легко відчинятися та щільно зачинятися. Також вікна і двері у літній період повинні укомплектовуватись зйомними очищувальними захисними екранами від шкідників. Виробничі приміщення можуть містити конструкції, які легко можна мити і дезінфікувати для підтримки необхідного санітарно-гігієнічного рівня.

Виробничі приміщення мають бути поділені на зони та умовно позначені кольором для візуального сприйняття ймовірності потрапляння до продукту небезпечних речовин чи дії агресивних факторів. Виробничі, складські приміщення та коридори і проходи загального користування повинні бути відмежовані та розділені стінами і простінками не лише для матеріальних потоків та персоналу, а й потоку повітря.

Харчові продукти можуть залишатися у відкритому стані тільки протягом того періоду часу, що необхідний для їхньої обробки. Для виробничих потужностей, де є відкритий доступ персоналу до матеріального потоку, вводиться червона зона. У червоній зоні найвищий рівень небезпеки потрапляння небезпечних речовин у продукт. Для працівників червоної зони має бути передбачено відокремлене побутове приміщення для персоналу. Матеріальний потік, рух персоналу і внутрішнього транспорту, відведення твердих відходів і стічних вод, а також газоподібних викидів має бути обмежено прилеглою зоною та зведено до абсолютного мінімуму. Чим коротший шлях матеріального потоку, тим менші втрати та полегшене очищення між партіями виготовлення продукту. Повітря, що надходить у виробничі приміщення, має очищатися на фільтрах та проходити спочатку до зон з високим ступенем ризику, а потім до зон з низьким ступенем ризику. Система миття та очищення поверхонь має бути передбачена для кожної виробничої зони окремо.

Санітарно-гігієнічні кімнати, побутові кімнати для приймання їжі, а також вбиральні мають мати належне проєктування з вентиляванням, водопостачанням і каналізацією, належним чином відокремлені від виробничих приміщень, а також їх необхідно ретельно та систематично прибирати і підтримувати у справному стані.

Має бути організовано окремо постачання питної води як виробничого матеріального потоку і потоку води для технічних потреб, які відповідним чином позначені.

Належне постачання питної води та відповідні технічні засоби для її зберігання, розподілу та контролю слід мати всюди, де це необхідно, для забезпечення безпеки та придатності харчових продуктів.

Непитна вода для використання у теплообмінних системах, виробництва пари, застосування у протипожежній безпеці тощо має знаходитись в окремій системі. Системи непитної води слід відповідно позначати та не можна змішувати із системами питної води.

Водопостачання має бути достатнім для певних робіт і надходити з відповідного джерела. Водопостачання не має пересікатись із водовідведенням чи каналізаційною системою. Каналізаційні системи та утилізація рідких відходів має бути спроектована та споруджена таким чином, щоб уникати ризику забруднення харчових продуктів або питної води.

Слід забезпечити адекватні технічні засоби для очищення харчових продуктів, інвентарю та обладнання. Такі технічні засоби варто обладнувати системою належної подачі гарячої та холодної питної води.

Необхідно забезпечувати належні засоби для природного та примусового вентилявання, для мінімізації забруднення харчових продуктів, що переноситься повітрям, наприклад, через краплі аерозолів та конденсату; для контролювання навколишньої температури та вологості; для контролювання запахів, що можуть вплинути на якість і придатність харчових продуктів.

Системи вентилявання мають передбачати рух повітря з чистішої зони до зон із більшим забрудненням. Важливо за необхідності додатково очищувати повітря пропусканням через фільтри та обслуговувати вентиляційні канали.

Належне природне або штучне освітлення має гарантувати роботу в гігієнічний спосіб. Інтенсивність освітлення повинна відповідати характеру операції та бути такою, щоб колір освітлених предметів не вводив в оману. Освітлювальні пристрої мають мати захист від забруднення харчових продуктів осколками скла чи пластику освітлювача.

Зберігання виготовлених харчових продуктів, прийнятої на виробництво сировини, інгредієнтів і нехарчових хімічних речовин (очищувальних засобів, мас-тильних матеріалів, паливних сумішей) має бути розмежовано та передбачено рух без пересікання потоків. Рух потоку має здійснюватися найкоротшим шляхом до місця призначення. Під час зберігання інгредієнтів враховують леткість речовини, температурний та інші параметри зберігання (вологість, освітленість тощо), допустимий термін придатності та необхідну кількість на виробничий сезон, придатність тари для проникнення і розмноження шкідників.

Особливу увагу приділяють збору твердих відходів, рідких стоків та газоподібних викидів. Після остаточного вилучення й очищення корисних компонентів тверді залишки збирають у контейнерах, що не допускають несанкціонованого проникнення в довкілля та збирають до моменту вивезення з виробництва. Вивозять з виробництва у терміни, що не допускають псування відходу з можливим розповсюдженням мікробіологічних чи хімічних патогенів. Для стічних виробничих вод і газоподібних викидів має бути передбачено зменшення вмісту шкідливих компонентів за допомогою процедур, узгоджених із санітарно-епідеміологічним наглядом (СЕН). Стічні промислові води після нейтралізації та часткового очищення з певним вмістом речовин, дозволеним СЕН, як і побутові стічні води, без попередньої обробки можна скидати у централізовану каналізаційну мережу. Всі харчові відходи мають за можливості швидко видалятися з виробничих приміщень і до остаточного вивозу зберігатися в контейнерах для відходів, що закриваються.

Украв важливо ретельно очищати, дезінфікувати і мити всі виробничі та складські приміщення для підтримання належного санітарно-епідемічного благополуччя підприємства та запобігання псуванню сировини, матеріалів і продукту шкідниками.

Програми очищення та дезінфікування повинні забезпечувати належне очищення всіх частин підприємства та включати миття очищувального обладнання. У програмі прибирання й очищення описують зону, одиниці обладнання та інвентар, що мають бути очищені; метод і частоту очищення; заходи з простежування (моніторингу); відповідальних за конкретні завдання.

Інвентар, що використовують у певній зоні підприємства, має бути окремим, зберігатися у визначеному місці та може бути позначений кольором, який відповідає кольору зони. Використані мийні й дезінфікуючі засоби для миття, очищення й дезінфекції, повинні бути безпечними й відповідати умовам застосування. Виконання цієї вимоги можна забезпечити будь-яким ефективним способом, включаючи придбання цих речовин під гарантію або сертифікат постачальника, або шляхом перевірки цих речовин на забруднення.

На харчовому підприємстві можна застосовувати й зберігати тільки токсичні матеріали, необхідні для догляду за чистотою й санітарним станом; проведення

лабораторних випробувань; догляду за обладнанням і для виконання робіт з ремонту; функціонування підприємства. Токсичні мийні й дезінфікуючі речовини, пестициди для боротьби із шкідниками мають бути позначені (марковані) й зберігатися так, щоб продукти, поверхні, що контактують із продуктами, й пакувальні матеріали були захищені від забруднення.

Шкідники (мікроорганізми, комахи, птахи, ссавці-гризуни) становлять основну загрозу безпечності та придатності харчових продуктів. Ураження шкідниками може виникнути там, де є харчі та вода, — це потенційні місця для їх розмноження. Належний санітарний контроль приміщень, інспектування вхідних матеріалів і сировини, належний моніторинг стану приміщень може мінімізувати ймовірність ураження шкідниками і таким чином обмежити потребу у застосуванні пестицидів. Вентиляційні і каналізаційні отвори та інші місця, через які шкідники можуть отримати доступ, слід тримати закритими. На відкритих вікнах, дверях і вентиляційних отворах встановлюють дротяні сітки. Домашніх тварин (котів та собак) слід не допускати на територію харчових і переробних підприємств.

Склади необхідно влаштовувати так, щоб штабелювати упаковану сировину над підлогою та на відстані від стін. Підприємство та прилеглі території слід регулярно перевіряти на наявність ознак ураження шкідниками. Виявлені місця, уражені шкідниками, слід усувати негайно, щоб уникнути впливу на безпечність або придатність харчових продуктів.

Оброблення хімічними, фізичними чи біологічними засобами слід здійснювати без створення загрози безпечності або придатності харчових продуктів. Процедуру обробки виконують підрядники, які втілюють процедури знезараження на договірних умовах. Розставлені пастки і приманки регулярно перевіряють, а їхнє місце розташування реєструють (на плані будівлі та виробничих приміщень), огляд пасток регулярно документує відповідальна особа протоколами оглядів. Заходи щодо боротьби зі шкідниками (дезінсекція, дератизація) мають проводити регулярно відповідно до затвердженого графіка. Регулярну перевірку виробничих приміщень вважають профілактичним заходом. Боротьба із шкідниками є однією з вимог законодавства, тому необхідно документувати всі заходи щодо контролю, щоб у разі потреби представити докази проведеної роботи.

Розрізняють три рівні заходів, спрямованих на запобігання проникненню на виробництво шкідників. Перший рівень підтримує недопущення шкідників поза виробництвом. Територію підприємства підтримують у чистому стані, запобігають нагромадженню сміття. Контейнери для збереження сміття обгороджують і закривають кришками для запобігання поширенню сміття по території. Контейнери щодня (у зимовий час 1 раз у 2 дні) звільняють від сміття й обробляють мийними і дезінфікуючими засобами. Відходи виробництва сортують, упаковують і зберігають на відведеній ділянці; вивозять у міру накопичення підрядними організаціями відповідно до договору. По периметру території забезпечують розміщення пасток для знищення гризунів.

Другий рівень підтримує недопущення шкідників поблизу виробництва. Передбачено забезпечення вільного доступу до зовнішніх стін приміщень. Усі отвори (віконні, вентиляційні тощо) захищені сітками; всі стінні отвори по шляху

комунікацій герметично закриті. Розміщення пасток по зовнішньому периметру будівель (біля дверних і вентиляційних отворів).

Третій рівень підтримує недопущення шкідників у виробничих приміщеннях та передбачає: регулярну санітарну обробку приміщень; щозмінне сортування відходів і вивіз на спеціально виділені ділянки; забезпечення герметичності трубопроводів; контроль системи каналізації і стоків; розміщення пасток у закутках приміщення; установка електричних приладів для боротьби з комахами (ламп-пасток) і контроль за їхньою роботою. Важливо ефективно розташувати й забезпечувати легке обслуговування електричних ламп для знищення комах.

Персонал, що знаходиться у виробничих приміщеннях має дотримуватися таких норм: у межах виробничої зони необхідно завжди носити санітарний одяг, санітарне взуття чи захисні чохли, шапки для волосся, маски, за необхідності рукавички, а виходячи із зони змінювати його. Працівники, що здійснюють маніпуляції з харчовими продуктами, не повинні носити особисті речі, такі як ювелірні прикраси, наручні годинники, шпильки, біжутерію або інші предмети, що можуть створити загрозу безпечності та придатності харчових продуктів. Під час роботи не можна вживати їжу, курити. Перед входженням у виробничу зону проходити санітарну кімнату з передбаченою необхідністю мити і дезінфікувати руки, а за необхідності — і взуття. Для червоної зони виробництва, де є безпосередній контакт людини з продуктом, необхідно мити й дезінфікувати руки після кожного відриву від робочого місця, і щоразу, коли руки стали забрудненими або зараженими. Під час роботи мати можливість часто мити і дезінфікувати руки, а також використовувати належні засоби для гігієнічного миття та сушіння рук, включаючи подачу гарячої та холодної води (або води з прийнятим контролем температури), пристрої або пристосування, такі як клапани порційної подачі води, сконструйовані і встановлені так, щоб захищати чисті й продезінфіковані руки від повторного забруднення. Персоналу слід завжди мити руки, коли особиста чистота може вплинути на безпечність харчового продукту: перед початком роботи з оброблення харчових продуктів; негайно після користування вбиральною; після маніпуляцій із сирим харчовим продуктом або будь-яким забрудненим матеріалом, коли це може призвести до забруднення інших харчових продуктів.

На всіх великих харчових підприємствах, зокрема ПрАТ «Київський маргариновий завод» передбачено проходження санітарної кімнати перед потраплянням у виробничий цех, проходження турнікетів лише після дезінфекції рук, а також є можливість помити руки безпосередньо в цеху, причому кран подає воду дозовано через клапан без необхідності перекивати кран.

Після заводської прохідної передбачено проходження санітарного огляду тих працівників, які безпосередньо контактують з харчовим продуктом на наявність відхилень від здорового стану шкіри, і температурний контроль тіла. Необхідно мати роздягальні та санітарно-гігієнічні приміщення (душові, вбиральні), де працівник має переодягнутися і вдягти захисний одяг.

Розвиток роботизованих технологічних ліній мінімізує контактування продукту з персоналом. За можливості персоналу слід уникати маніпуляцій з готовими до вживання харчовими продуктами.

Особам, щодо яких відомо, або існує підозра, що вони страждають або можуть бути носіями захворювання, яке може передатися через харчовий продукт, не слід допускати входити до будь-яких приміщень, де здійснюються маніпуляції з харчовими продуктами, якщо існує ймовірність того, що вони забруднять продукт. Будь-якій особі, ураженій таким чином, слід негайно повідомити про захворювання або симптоми керівництву. Слід проводити медогляди осіб, що працюють з харчовими продуктами, якщо щодо цього існують клінічні або епідеміологічні показання. Основна мета моніторингу здоров'я працівників полягає в тому, щоб контролювати стан, здатний викликати мікробіологічне зараження продуктів, пакувальних матеріалів і поверхонь, що контактують з продуктами. Контроль стану здоров'я працівників слід покласти на компетентну особу, що має спеціальну підготовку. Здоров'я працівників і особиста гігієна — це головні компоненти програми санітарного контролю підприємства. Менеджери зобов'язані не допускати працівників до роботи з харчовими продуктами або поверхнями, що контактують з продуктами, якщо працівники хворі або мають рани, через що потенційно може забруднитися продукт. Порізи та рани у випадку, коли персоналу дозволено продовжувати роботу, слід укривати прийнятними водонепроникними перев'язувальними матеріалами. Для підтримання особистої гігієни та забезпечення здоров'я працівників у керівництва підприємства та в персоналу виникають обов'язки стосовно виконання процедур щодо безпечності продукту.

Важливим є вироблення політики компанії стосовно випадків недопущення до роботи персоналу, що має захворювання, щодо вимог до стану здоров'я й особистої гігієни персоналу, а також контролювання етапів реалізації виробленої політики. Політика щодо гігієни персоналу має підтримуватись відповідним проектуванням й обслуговуванням приміщень, створенням умов для виконання працівниками вимог з особистої гігієни і санітарії. Ефективним є здійснення постійного навчання та інструктажу персоналу щодо дотримання правил особистої гігієни та санітарії.

У підтриманні безпечного виробництва харчового продукту має бути задіяний кожний працівник підприємства, починаючи з адміністративно-виробничих посадових осіб і закінчуючи допоміжним персоналом, що здійснює прибирання й охорону виробничих приміщень. Лише дотримання виробленої санітарно-гігієнічної політики кожним працівником харчового виробництва дасть змогу функціонувати системі управління безпечністю харчового продукту.

Висновки

Стандартні санітарні робочі процедури виробництва харчового продукту забезпечують якість і безпечність продукту на всіх етапах виробництва, починаючи від надходження сировини і пакувальних матеріалів на підприємство до реалізації готової продукції на ринку. Основні санітарно-гігієнічні вимоги обумовлюють розташування й облаштування виробничих приміщень, оснащення засобами контролю, правила очищення обладнання та поводження з відходами, політику щодо культури роботи персоналу. Санітарно-гігієнічні процедури є деталізованими на кожному підприємстві щодо послідовності виконання та відповідальних осіб і необхідні для сталого виробництва безпечного харчового продукту.

Використання стандартних санітарно-гігієнічних робочих процедур спрощує запровадження систем управління безпечністю харчового продукту, таких як НАССР чи аналогічних стандартів.

Література

Зозуля, І. В. (2017). Безпечність та якість продуктів в Україні в умовах євроінтеграції: питання удосконалення законодавства. *Форум права*, 4, 80—86. URL: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/FP_index.htm_2017_4_14.pdf.

Кошкालда, І. В., Шелудько, Л. В. (2018). Підвищення якості та безпеки продовольства в Україні. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Економіка і менеджмент»*, випуск 6(76), 39—43.

Кузьома, В. В., Павлюк, С. І. (2019). Впровадження системи управління безпечністю харчових продуктів на основі концепції НАССР. *Modern Economics*, 14, 115—120. doi: 10.31521/modecon.V14(2019)-19.

Лозинська, Т. М., Дем'яненко, Н. В., Чупилко, В. О. (2019). Стан державного контролю щодо якості та безпечності харчових продуктів. *Причорноморські економічні студії*, 45, 130—133. doi: 10.32702/2307-2156-2020.3.5.

Сьомич, М. І. (2020). Державний контроль за дотриманням законодавства в підприємствах харчової промисловості. *Державне управління: удосконалення та розвиток*, 3, 5 с. doi: 10.32702/2307-2156-2020.3.5.

Arvanitoyannis, I. S., Traikou, A. (2005). A Comprehensive Review of the Implementation of Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) to the Production of Flour and Flour-Based Products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45, 327—370. doi: 10.1080/10408390590967694.

Bomba, M. Ya., Susol, N. Ya. (2020). Main requirements for food safety management systems under international standards: BRC, IFS, FSSC 22000, ISO 22000, Global GAP, SQF. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 22(93), 18—25. doi: 10.32718/nvlvet-19304.

Campmajo, G., Saurina, J., Núñez, O. (2022). FIA-HRMS fingerprinting subjected to chemometrics as a valuable tool to address food classification and authentication: Application to red wine, paprika, and vegetable oil samples. *Food Chemistry*, 323, 9. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.131491.

Carol, A. W. (2014). HACCP — The difficulty with Hazard Analysis. *Food Control*, 34, 1, 233—240. doi: 10.1016/j.foodcont.2013.07.012.

Cerf, O., Donnat, E. (2011). Application of hazard analysis — Critical control point (HACCP) principles to primary production: What is feasible and desirable? *Food Control*, 22, 1839—1843. doi: 10.1016/j.foodcont.2019.03.002.

Casado, N., Morante-Zarero, S., Sierra, I. (2022). The concerning food safety issue of pyrrolizidine alkaloids: An overview. *Trends in Food Science & Technology*, 120, 123—139. doi: 10.1016/j.tifs.2022.01.007.

Chen, H., Liu, S., Chen, Y., Chen, C., Yang, H., Chen, Y. (2020). Food safety management systems based on ISO 22000:2018 methodology of hazard analysis compared to ISO 22000:2005. *Accreditation and Quality Assurance*, 25(1), 23—37. doi: 10.1007/s00769-019-01409-4.

Dittmann, B., Schmid, P., Kemmer, D. (2022). Role of food contact materials in the safety assessment of potentially hazardous substances and in the dietary exposure of infants. *Global Pediatrics*, 2, 4. doi: 10.1016/j.gyped.2022.100013.

Dzwolak, W. (2019). Assessment of HACCP plans in standardized food safety management systems — The case of small-sized Polish food businesses. *Food Control*, 106, 16. doi: 10.1016/j.foodcont.2019.106716.

Faour-Klingbeil, D., Osaili, T. M., Al-Nabulsi, A. A., O.Taybeh, A., Jemni, M. & Todd, E. C. D. (2022). How has public perception of food safety and health risks changed a year after the pandemic and vaccines roll out? *Food Control*, 139, 10. doi: 10.1016/j.foodcont.2022.109073.

- Fortune, A. (2017). Food safety knowledge, attitudes and practices of institutional food-handlers in Ghana. *BMC Public Health*, 17, 9. doi: 10.1186/s12889-016-3986-9.
- Jeddi, M. Z., Boon, P. E., Cubadda, F., Hoogenboom, R., Mol, H., Verhagen, H., Sijm, D. T. H. M. (2022). A vision on the ‘foodture’ role of dietary exposure sciences in the interplay between food safety and nutrition. *Trends in Food Science & Technology*, 120, 288—300. doi: 10.1016/j.tifs.2022.01.024.
- Kasza, G., Csenk, E., Szakos, D., Izso, T. (2022). The evolution of food safety risk communication: Models and trends in the past and the future. *Food Control*, 138, 8. doi 10.1016/j.foodcont.2022.109025.
- Khan, I., Tango, C. N., Miskeen, S., Lee, B. H., Oh, D.-H. (2017). Hurdle technology: A novel approach for enhanced food quality and safety — A review. *Food Control*, Volume 73, Part B, March, 1426—1444. doi: 10.1016/j.foodcont.2016.11.010.
- Kushwah, A., Kumar, R. (2017). HACCP — its need and practices. *Acta Chemica Malaysia (ACMY)*, 1(2). doi: 10.26480/acmy.02.2018.01.05.
- Lee, J. H., Seo, K. H. (2020). An Integrative Review of Hygiene Practice Studies in the Food Service Sector. *Journal of Food Protection*, 83(12), 2147—2157. doi: 10.4315/JFP-19-488.
- Matthews, C., Moran, F., Jaiswal, A. K. (2021). A review on European Union’s strategy for plastics in a circular economy and its impact on food safety. *Journal of Cleaner Production*, 283, 13. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125263.
- Panghal, A., Chhikara, N., Sindhu, N., Jaglan, S. (2018). Role of food safety management systems in safe food production: A review. *Journal of Food Safety*, 11. doi: 10.1111/jfs.12464.
- Piira, N., Kosola, M., Hellsten, C., Fagerlund, A., Lunden, J. (2021). Comparison of official food control results in Finland between food establishments with and without a certified food safety management system. *Food Control*, 129, 7. doi: 10.1016/j.foodcont.2021.108230.
- Rossi, A., Rossi, G., Rosamilia, A., Micheli, M. R. (2020). Official controls on food safety: Competent Authority measures. *Italian Journal of Food Safety*, 9, 125—131. doi:10.4081/ijfs.2020.8607.

INFLUENCE OF INACTIVATED CELLS OF COMPETITIVE MICROORGANISMS ON THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF *RHODOCOCCLUS ERYTHROPOLIS* IMV AC-5017 SURFACTANTS

T. Pirog, I. Kliuchka, L. Kliuchka

National University of Food Technologies

Key words:

*Antimicrobial and antiadhesive activity
Biofilm destruction
Biological inducers
Surfactants*

Article history:

Received 04.03.2022

Received in revised form
17.03.2022

Accepted 11.04.2022

Corresponding author:

T. Pirog

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

One of the ways to increase the antimicrobial activity of microbial synthesis products is to introduce competitive microorganisms (biological inducers) into the medium cultivation of the producer. Thus, in the presence of live cells of *Escherichia coli* IEM-1 or *Bacillus subtilis* BT-2 in the cultivation medium of *R. erythropolis* IMV Ac-5017 surfactants were synthesized which were characterized by several times higher antibacterial and antifungal activity than formed in medium without inducers. Increasing synthesis and/or antimicrobial activity of metabolites can be achieved by using inactivated cells of competitive microorganisms as inducers, which, in turn, greatly facilitates the organization of final products production.

It was found that surfactants synthesized by *R. erythropolis* IMV Ac-5017 in the presence of inactivated *E. coli* IEM-1 or *B. subtilis* BT-2 cells in the cultivation medium, were characterized by higher antimicrobial and anti-adhesive activity than surfactants formed in medium without inducers. Minimum inhibitory concentrations against bacterial test cultures (*E. coli* IEM-1, *B. subtilis* BT-2, *Staphylococcus aureus* BMS-1) of surfactants synthesized in the presence of competitive bacteria were 3—6 µg/ml and were 8—32 times lower than the surfactants formed under cultivation of IMV Ac-5017 strain in medium without *E. coli* IEM-1 or *B. subtilis* BT-2. The introduction of inducers into the *R. erythropolis* IMV Ac-5017 cultivation medium was accompanied by the formation of surfactants, after treatment with which the adhesion of test cultures cells on abiotic surfaces was on average 10—30% lower, and the degree of biofilms destruction was 10—30% higher than when using surfactants obtained without inducers.

The obtained data indicate the possibility of regulating the biological activity of *R. erythropolis* IMV Ac-5017 surfactants by introducing inactivated cells *E. coli* IEM-1 or *B. subtilis* BT-2 into cultivation medium. It is important that under such cultivation conditions the antimicrobial and anti-adhesive activity of surfactants of *Rhodococcus* genus bacteria increases to the level of known in the world amino- and glycolipids.

ВПЛИВ ІНАКТИВОВАНИХ КЛІТИН КОНКУРЕНТНИХ МІКРООРГАНІЗМІВ НА БІОЛОГІЧНУ АКТИВНІСТЬ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН *RHODOCOCCLUS ERYTHROPOLIS* IMB AC-5017

Т. П. Пирог, І. В. Ключка, Л. В. Ключка

Національний університет харчових технологій

Одним із шляхів підвищення антимікробної активності продуктів мікробного синтезу є внесення у середовище вирощування продуцента конкурентних мікроорганізмів (біологічних індукторів). Так, за наявності живих клітин *Escherichia coli* IEM-1 або *Bacillus subtilis* БТ-2 у середовищі культивування *R. erythropolis* IMB Ac-5017 синтезувалися ПАР, що характеризувалися вищою у кілька разів антибактеріальною та антифунгальною активністю, ніж утворені у середовищі без індукторів. Літературні дані свідчать про те, що підвищення синтезу та/або антимікробної активності метаболітів можна досягти використанням як індукторів інактивованих клітин конкурентних мікроорганізмів, що, у свою чергу, суттєво полегшує організацію виробництва цільових продуктів.

Встановлено, що ПАР, синтезовані *R. erythropolis* IMB Ac-5017 за внесення у середовище культивування інактивованих клітин *E. coli* IEM-1 або *B. subtilis* БТ-2, характеризувалися вищою антимікробною та антиадгезивною активністю, ніж поверхнево-активні речовини, утворені на середовищі без індукторів. Мінімальні інгібуючі концентрації щодо бактеріальних тест-культур (*E. coli* IEM-1, *B. subtilis* БТ-2, *Staphylococcus aureus* БМС-1) ПАР, синтезовані за наявності конкурентних бактерій, становили 3—6 мкг/мл і були в 8—32 рази нижчими, ніж поверхнево-активних речовин, утворених під час вирощування штаму IMB Ac-5017 у середовищі без *E. coli* IEM-1 і *B. subtilis* БТ-2. Внесення бактерій-індукторів у середовище культивування *R. erythropolis* IMB Ac-5017 супроводжувалося утворенням ПАР, після обробки якими адгезія клітин тест-культур на абіотичних поверхнях була в середньому на 10—30% нижчою, а ступінь руйнування біоплівки на 10—30% вищим порівняно з використанням поверхнево-активних речовин, одержаних за відсутності індукторів.

Одержані дані свідчать про можливість регуляції біологічної активності поверхнево-активних речовин *R. erythropolis* IMB Ac-5017 внесенням у середовище культивування продуцента інактивованих клітин *E. coli* IEM-1 і *B. subtilis* БТ-2. Важливо, що за таких умов культивування антимікробна та антиадгезивна активність поверхнево-активних речовин бактерій роду *Rhodococcus* підвищується до рівня відомих у світі аміно- та гліколіпідів.

Ключові слова: антимікробна і антиадгезивна активність, деструкція біоплівки, біологічні індуктори, поверхнево-активні речовини.

Постановка проблеми. Останніми роками на тлі підвищення резистентності патогенних мікроорганізмів до антибіотиків збільшується кількість наукових праць, присвячених антимікробним речовинам природного походження як

альтернативи антибіотикотерапії: поверхнево-активним речовинам (ПАР) (Bjerka та ін., 2021; De Gian, Zampolli & Di Gennaro, 2021), бактеріоцинам (Ahmad та ін., 2017; Darbandi та ін., 2022), новим метаболітам різної хімічної будови (Srinivasan, Kannappan, Shi & Lin, 2021; Bach, Passaglia, Jiao & Gross, 2022). Відомо, що антимікробна активність багатьох продуктів мікробного синтезу посилюється у разі спільного культивування продуцента з іншими мікроорганізмами (конкурентними мікроорганізмами, біологічними індукторами) (Hifnawy та ін., 2020; Liang та ін., 2020).

Раніше (Pirog та ін., 2018) було встановлено, що ПАР, синтезовані *Rhodococcus erythropolis* ІМВ Ас-5017, проявляють антимікробну активність щодо бактерій та дріжджів, проте мінімальні інгібуючі концентрації перебували в межах 60—500 мкг/мл і були вищими, ніж у софоро- (10—200 мкг/мл) та аміноліпідів (1—32 мкг/мл) (Pirog, Lutsay, Kliuchka & Beregova, 2019).

У наших попередніх дослідженнях (Pirog, Kluchka, Skrotska & Stabnikov, 2020) з метою підвищення антимікробної та активності поверхнево-активних речовин здійснювали спільне культивування продуцента *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 з *Escherichia coli* ІЕМ-1 або *Bacillus subtilis* БТ-2. Встановлено, що мінімальні інгібуючі концентрації щодо бактеріальних тест-культур поверхнево-активних, синтезованих за наявності живих клітин конкурентних бактерій, становили 3—12 мкг/мл і були в 4—32 рази нижчими, ніж ПАР, утворених під час вирощування штаму ІМВ Ас-5017 у середовищі без *E. coli* ІЕМ-1 і *B. subtilis* БТ-2.

Відомо, що можна досягти підвищення антимікробної активності метаболітів у разі не тільки спільного культивування продуцентів з конкурентними мікроорганізмами, а й за наявності у середовищі інактивованих клітин біологічних індукторів (Elsherbiny, Moghannem & Kalaba, 2017; Liang та ін., 2019; Liang та ін., 2020; Пирог, Іванов & Ярова, 2021).

Зважаючи на викладене вище, **мета статті** полягає в тому, щоб дослідити можливості посилення біологічної активності ПАР, синтезованих *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 за внесення у середовище інактивованих клітин *E. coli* ІЕМ-1 і *B. subtilis* БТ-2.

Матеріали і методи. Основним об'єктом досліджень був виділений із забрудненого нафтою зразка ґрунту штам нафтоокиснювальних бактерій, ідентифікований як *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1 (Pirog Т. Р., Shevchuk Т. А., Voloshina І. N., Gregirchak N. N., 2005). Штам ЕК-1 зареєстрований у Депозитарії мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного Національної академії наук України за номером ІМВ Ас-5017. За хімічною природою позаклітинні ПАР *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 є комплексом гліко- (трегалозомоно- і диміколати), нейтральних (цетиловий спирт, пальмітинова кислота, метиловий ефір н-пентадеканової кислоти, міколові кислоти) і фосфоліпідів (фосфатидилгліцерин, фосфатиділетаноламін).

Як тест-культури під час визначення антимікробної та антиадгезивної активності ПАР, а також їх ролі у руйнуванні біоплівки використовували штами бактерій (*B. subtilis* БТ-2, *E. coli* ІЕМ-1, *Staphylococcus aureus* БМС-1, *Pseudomonas* sp. МІ-2) і дріжджів (*Candida albicans* Д-6, *Candida utilis* БВС-65) з колекції живих

культур кафедри біотехнології і мікробіології Національного університету харчових технологій.

R. erythropolis IMB Ac-5017 вирощували у рідкому середовищі (г/л): NaNO_3 — 1,3, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,1, NaCl — 1,0, Na_2HPO_4 — 0,6, KH_2PO_4 — 0,14, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,001, pH 6,8—7,0. Як джерело вуглецю та енергії використовували етанол у концентрації 2% (об'ємна частка).

Як посівний матеріал використовували культуру в експоненційній фазі, вирощену у середовищі наведеного складу з 0,5% етанолу. Інокулят, в якому чисельність бактерій становила 10^4 — 10^5 кл/мл, вносили у кількості 10% від об'єму середовища.

Бактерії *E. coli* IEM-1, вирощені на м'ясо-пептонному агарі (МПА) упродовж 14 год, або *B. subtilis* БТ-2, вирощені на МПА упродовж 14 і 24 год, суспендували в 100 мл стерильної водопровідної води, інактивували клітини стерилізацією в автоклаві при 131°C упродовж 1 год і вносили з розрахунку 10 мл суспензії на 100 мл поживного середовища у лаг- і експоненційній фазі росту *R. erythropolis* IMB Ac-5017.

Культитивування *R. erythropolis* IMB Ac-5017 за наявності інактивованих клітин *E. coli* IEM-1 і *B. subtilis* БТ-2 і без бактерій-індукторів здійснювали у 750 мл колбах з 100 мл середовища на качалці (320 об/хв) при 30°C упродовж 5 діб.

Кількість позаклітинних ПАР визначали ваговим методом після екстракції з супернатанту сумішню Фолча, як описано раніше у (Пирог, Іванов & Ярова, 2021). Антимікробну активність поверхнево-активних речовин аналізували за показником мінімальної інгібуючої концентрації (МІК), як описано у попередніх дослідженнях (Пирог, Іванов & Ярова, 2021).

Антиадгезивну активність ПАР визначали, як описано в (Rufino та ін., 2011). Однакові пластинки (1 см^2) досліджуваних матеріалів попередньо очищали мийним засобом, ополіскували дистильованою водою, висушували на повітрі та стерилізували (стальні пластини, кахель — при 121°C , пластик, лінолеум — при 112°C упродовж 30 хв). Після стерилізації пластини обробляли розчином ПАР (у контрольному варіанті — стерильним фосфатним буфером) та витримували при 30°C протягом 18—24 год. Далі контрольні і попередньо оброблені препаратами ПАР матеріали ополіскували стерильним фосфатним буфером або дистильованою водою для видалення залишку препаратів.

Тест-культури мікроорганізмів суспендували у 100 мл стерильної водопровідної води, у суспензію поміщали попередньо оброблені і необроблені (контрольні) матеріали і витримували 2 год при 30°C . Контрольні і попередньо оброблені матеріали ополіскували фосфатним буфером, щоб змити неадгезовані клітини. Матеріали з адгезованими на них клітинами залишали до висихання на повітрі, після чого адгезовані клітини фіксували, поміщаючи матеріал спочатку у метанол (99%) на 15 хв і фарбували у 1% розчині генціанвіолету 5 хв. Пластини матеріалу ополіскували водопровідною водою і залишали при кімнатній температурі до висихання. Далі адгезовані клітини з барвником змивали з поверхні матеріалів 1 мл льодової оцтової кислоти, вносили 9 мл дистильованої води і вимірювали оптичну густину отриманої суспензії на фотоелектроколориметрі при довжині хвилі 540 нм.

Кількість адгезованих клітин визначали як відношення оптичної густини суспензії, отриманої після оброблення матеріалів препаратами ПАР, до оптичної густини суспензії, отриманої після оброблення матеріалів фосфатним буфером (контроль), і виражали у відсотках.

Визначення впливу ПАР на руйнування біоплівки здійснювали, як описано у (Gomes & Nitschke, 2012). Для формування біоплівки у полістиролові мікропланшети вносили 180 мкл м'ясо-пептонного бульйону (МПБ) чи рідкого суслу та 20 мкл суспензії одноклонової тест-культури, інкубували упродовж 24 год при оптимальній для тест-культури температурі, після чого зливали культуральну рідину і вносили 180 мкл свіжого МПБ чи суслу і 20 мкл суспензії тест-культури і ще інкубували впродовж наступних 24 год. Через 48 год культуральну рідину зливали, а в лунки мікропланшета (з попередньо сформованою на них біоплівкою тест-культури) вносили по 200 мкл препаратів ПАР різної концентрації. У контрольні варіанти (лунки) замість препаратів ПАР вносили стерильну водопровідну воду (200 мкл). Через 24 год експозиції лунки тричі промивали 200 мкл дистильованої води і визначали кількість адгезованих клітин спектрофотометричним методом. Ступінь руйнування біоплівки (%) визначали як різницю між адгезією клітин у необроблених і оброблених ПАР лунках полістиролового планшета.

Усі досліди проводили в 3 повторах, кількість паралельних визначень в експериментах становила 3—5. Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали, як описано раніше (Pirog, Shevchuk, Voloshina & Gregirchak, 2005). Відмінності середніх показників вважали достовірними на рівні значимості $p < 0,05$.

Результати і обговорення. У табл. 1 наведено мінімальні інгібуючі концентрації поверхнево-активних речовин, синтезованих за наявності у середовищі культивування продуцента ПАР інактивованих клітин *E. coli* ІЕМ-1 і *B. subtilis* БТ-2 (спорових і вегетативних). Ці дані свідчать, що внесення у середовище бактерій-індукторів супроводжувалося утворенням ПАР, антимікробна активність яких була суттєво вищою порівняно з встановленою для поверхнево-активних, одержаних на середовищі без конкурентних мікроорганізмів. Зазначимо, що ПАР, синтезовані за наявності *B. subtilis* БТ-2 і *E. coli* ІЕМ-1 у середовищі культивування *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017, проявляли високу антимікробну активність не тільки щодо клітин конкурентних бактерій, а й щодо *S. aureus* БМС-1: значення МІК щодо усіх досліджуваних тест-культур були в 8—32 рази нижчими, ніж поверхнево-активних речовин, утворених під час вирощування штаму ІМВ Ас-5017 у середовищі без *E. coli* ІЕМ-1 і *B. subtilis* БТ-2.

Дані, наведені у табл. 2, свідчать, що незалежно від типу конкурентних мікроорганізмів (вегетативні і спорові клітини *B. subtilis* БТ-2, *E. coli* ІЕМ-1) та моменту внесення у середовище культивування *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 синтезовані ПАР ефективніше руйнували біоплівку *B. subtilis* БТ-2, ніж поверхнево-активні речовини аналогічної концентрації, утворені у середовищі без конкурентних мікроорганізмів. Зазначимо, що у досліджуваному діапазоні концентрацій ПАР (від 192 до 3 мкг/мл) ступінь руйнування біоплівки *B. subtilis* БТ-2 був достатньо високим і становив 48—65% (у варіанті без індукторів), 63—89 і 61—85% за використання як індукторів спорових і вегетативних клітин *B. subtilis* БТ-2, 56—83% — *E. coli* ІЕМ-1.

Ступінь руйнування біоплівки *C. utilis* БВС-65 (табл. 3) за дії ПАР, синтезованих за наявності у середовищі культивування *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 інактивованих клітин *B. subtilis* БТ-2, був вищим, ніж після обробки розчинами поверхнево-активних речовин, одержаних на середовищі без індуктора. Так само, як і для біоплівки *B. subtilis* БТ-2 (табл. 2), високий ступінь деструкції дріжджової біоплівки (49—89%) досягався в широкому діапазоні концентрацій ПАР (від 192 до 12 мкг/мл).

На відміну від *B. subtilis* БТ-2, внесення у середовище культивування *R. Erythropolis* ІМВ Ас-5017 клітин *E. coli* ІЕМ-1 супроводжувалося синтезом ПАР, за наявності яких ступінь деструкції цієї дріжджової біоплівки був усього на кілька відсотків (не більше 3—5) вищим порівняно з таким за дії поверхнево-активних речовин, синтезованих у середовищі без індуктора.

У табл. 4 наведено дані щодо руйнування біоплівок інших бактеріальних і дріжджових тест-культур під впливом поверхнево-активних речовин, синтезованих *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 у середовищі з конкурентними мікроорганізмами. Одержані результати свідчать про позитивний вплив клітин *B. subtilis* БТ-2 і *E. coli* ІЕМ-1 на біологічну активність утворених за таких умов ПАР: ступінь руйнування біоплівок *S. aureus* БМС-1, *Pseudomonas* sp. МІ-2 і *C. albicans* Д-6 був на 8—32% вищим порівняно з використанням поверхнево-активних речовин, синтезованих *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 у середовищі без конкурентних мікроорганізмів.

Адгезія клітин *Candida albicans* Д-6 (табл. 5) на абіотичних поверхнях, оброблених поверхнево-активними речовинами, синтезованими за внесення у середовище культивування *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 конкурентних бактерій, була нижчою (7—32%), ніж після обробки ПАР, одержаними у середовищі без індукторів (33—87%).

Таблиця 1. Антимікробна активність поверхнево-активних речовин *Rhodococcus erythropolis* ІМВ Ас-5017, синтезованих за наявності конкурентних мікроорганізмів

Конкурентний мікроорганізм (індуктор)	Фаза росту <i>R. erythropolis</i> ІМВ Ас-5017, в якій вносили індуктор	Мінімальні інгібуючі концентрації (мкг/мл) щодо			
		<i>Escherichia coli</i> ІЕМ-1	<i>Staphylococcus aureus</i> БМС-1	<i>Bacillus subtilis</i> БТ-2 (спори)	<i>Bacillus subtilis</i> БТ-2 (вегетативні)
Контроль (без індуктора)	—	48	48	96	48
<i>Bacillus subtilis</i> БТ-2 (спорова культура)	Лаг-фаза	6	3	3	6
	Експоненційна	3	3	3	6
<i>Bacillus subtilis</i> БТ-2 (вегетативні клітини)	Лаг-фаза	6	3	3	6
	Експоненційна	3	6	6	3
<i>Escherichia coli</i> ІЕМ-1	Лаг-фаза	6	3	6	6
	Експоненційна	3	3	6	6

Таблиця 2. Вплив поверхнево-активних речовин, синтезованих *Rhodococcus erythropolis* ІМВ Ас-5017 за наявності біологічних індукторів, на руйнування біоплівки *Bacillus subtilis* БТ-2

Індуктор	Стан клітин індуктора	Фаза росту <i>R. erythropolis</i> ІМВ Ас-5017, в якій вносили індуктор	Деструкція біоплівки (%) за дії ПАР у концентрації (мкг/мл)						
			192	96	48	24	12	6	3
<i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	Інактивовані вегетативні	Лаг-фаза	82,5	78,3	74,5	69,9	67,7	65,8	60,5
		Експоненційна	84,5	74,4	71,1	64,0	62,5	60,5	60,8
	Інактивовані спорові	Лаг-фаза	89,2	87,4	80,5	75,5	71,8	65,9	63,7
		Експоненційна	88,4	79,3	79,1	73,3	69,1	64,8	63,0
<i>Escherichia coli</i> ІЕМ-1	Інактивовані	Лаг-фаза	75,8	70,9	68,4	67,5	64,9	59,2	56,1
		Експоненційна	83,2	74,1	68,7	68,3	63,5	60,8	57,5
Без індуктора		—	65,0	63,7	62,7	59,1	57,4	50,1	48,1

Примітка: Табл. 2—4: під час визначення ступеня руйнування біоплівки похибка не перевищувала 5%.

Таблиця 3. Руйнування біоплівки *Candida utilis* БВС-65 під впливом ПАР, синтезованих за наявності у середовищі культивування *Rhodococcus erythropolis* ІМВ Ас-5017 інактивованих клітин *Bacillus subtilis* БТ-2

Клітини індуктора	Фаза росту <i>R. erythropolis</i> ІМВ Ас-5017, в якій вносили індуктор	Деструкція біоплівки (%) за дії ПАР у концентрації (мкг/мл)						
		192	96	48	24	12	6	3
Інактивовані вегетативні	Лаг-фаза	88,6	64,4	62,8	56,9	55,7	50,6	43,3
	Експоненційна	88,6	61,7	57,7	52,8	48,9	44,7	40,9
Інактивовані спорові	Лаг-фаза	71,1	59,7	56,9	54,7	48,9	43,3	42,7
	Експоненційна	76,1	67,8	66,7	61,1	59,7	56,7	42,8
Без індуктора		60,8	52,7	50,0	48,6	41,7	42,1	37,5

Таблиця 4. Деструкція бактеріальних і дріжджових біоплівок за наявності поверхнево-активних речовин, синтезованих в різних умовах культивування *Rhodococcus erythropolis* ІМВ Ас-5017

Тест-культура	*Концентрація ПАР, мкг/мл	Руйнування біоплівки за дії ПАР, синтезованих без індуктора, %	Деструкція біоплівки (%) за дії ПАР, утворених за наявності інактивованих клітин індукторів		
			<i>Bacillus subtilis</i> БТ-2 (вегетативні)	<i>Bacillus subtilis</i> БТ-2 (спорові)	<i>Escherichia coli</i> ІЕМ-1
<i>Staphylococcus aureus</i> БМС-1	3	31,9	50,8	50,6	39,4
<i>Pseudomonas</i> sp. МІ-2	25	39,3	54,8	58,3	62,7
<i>Escherichia coli</i> ІЕМ-1	6	36,1	45,3	44,2	68,3
<i>Candida albicans</i> Д-6	50	32,5	48,6	49,2	52,7

Примітки: Живі та інактивовані клітини індукторів вносили у середовище культивування *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 у лаг-фазі.

* — ефективна концентрація ПАР, що забезпечувала максимальне руйнування біоплівки.

Таблиця 5. Прикріплення дріжджових і бактеріальних клітин до абіотичних поверхонь після обробки поверхнево-активними речовинами, синтезованими за наявності конкурентних мікроорганізмів

Інактивовані клітини індуктора	Концентрація ПАР, мкг/мл	Адгезія (%) <i>Candida albicans</i> Д-6			Адгезія (%) <i>Staphylococcus aureus</i> БМС-1		
		кахель	сталь	скло	кахель	сталь	скло
<i>Escherichia coli</i> ІЕМ-1	24	13	7	24	32	23	33
	12	10	15	17	33	27	31
	6	10	15	10	34	33	23
	3	8	11	7	24	38	23
<i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	24	10	11	10	39	39	33
	12	16	15	17	29	29	26
	6	20	16	17	25	26	23
	3	32	19	21	29	21	20
Без індуктора	24	42	33	38	50	43	41
	12	49	37	55	54	45	42
	6	58	58	66	60	52	43
	3	87	76	83	72	64	46

Примітка: Інактивовані клітини бактерій-індукторів вносили у лаг-фазі (на початку процесу культивування *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017).

Дані, наведені у табл. 5, свідчать про те, що внесення інактивованих клітин індукторів у середовище культивування *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 супроводжувалося утворенням ПАР, після обробки якими адгезія клітин *S. aureus* БМС-1 на абіотичних поверхнях становила 20—39% і була нижчою, порівняно з використанням поверхнево-активних речовин, одержаних за відсутності індуктора (41—72%).

Зазначимо, що у переважній більшості досліджень щодо впливу конкурентних мікроорганізмів на антимікробну активність метаболітів як біологічні індуктори використовували живі клітини (Li та ін., 2014; Alves, Sequeira & Cunha, 2019; Hifnawy та ін., 2020). У деяких працях (Luti & Yonis, 2013; Liang та ін., 2020) досліджували роль як живих, так і інактивованих клітин індукторів у регуляції антимікробної активності продуктів мікробного синтезу. Звичайно ж, з технологічної точки зору використання інактивованих клітин індукторів є набагато простішим. Тому не дивно, що деякі науковці досліджували вплив тільки інактивованих клітин конкурентних мікроорганізмів на синтез та антимікробну активність метаболітів (Luti & Mavituna, 2011; Asamizu та ін., 2015; Leães та ін., 2016; Elsherbiny, Moghannem & Kalaba, 2017; Liang та ін., 2019).

Так, у праці (Luti & Mavituna F., 2011) встановлено, що внесення 2,5 і 5% (об'ємна частка) інактивованих тепловою обробкою (30 хв на киплячій водянній бані) суспензії клітин *B. subtilis* ATCC 6633 і *S. aureus* ATCC 43090 відповідно у середовище культивування штамів *Streptomyces coelicolor* A3(2) і MT1110 (продуцентів ундецилпродігіозину — антибіотика з протипухлинною активністю) супроводжувалося підвищенням кількості синтезованого цільового продукту у 3—5 разів порівняно з концентрацією, утворюваною монокультурами A3(2) і MT1110. Інші дослідники (Jaber & Reem, 2014) показали, що за наявності інактивованих

клітин *E. coli*, *B. subtilis* та *Saccharomyces cerevisiae* (номери штамів не наведено) у середовищі вирощування *S. coelicolor* A3(2) концентрація ундецилпродігіозину була в 1,16; 1,5 і 2 рази відповідно вищою, ніж синтезована штамом A3(2) у середовищі без індукторів. Автори цієї праці зазначають, що за використання живих клітин індукторів рівень синтезу протипухлинного антибіотику був дещо вищий, ніж за наявності інактивованих.

Leães із співавт. (Leães та ін., 2016) встановили, що у разі внесення у середовище культивування продуцента ліпопептидів *Bacillus amyloliquefaciens* P11 інактивованих тепловою обробкою клітин *S. aureus* subsp. *aureus* ATCC 25923 або *Aspergillus parasiticus* (номер штаму не наведено) синтезувалися ПАР, антимікробна щодо *Listeria monocytogenes* ATCC 7644 активність яких підвищувалася у 3—3,5 рази. За таких умов культивування підвищувався рівень експресії генів, відповідальних за синтез ітурину та фенгіцину. Цікаво, що використання як індукторів інактивованих клітин *E. coli* ATCC 25922, *Bacillus cereus* ATCC11788, *L. monocytogenes* ATCC 7644 і грибів *Fusarium oxysporum* f. *lycopersici*, *Fusarium graminearum* (номери не наведено) не супроводжувалося збільшенням антимікробної активності синтезованих ПАР. У роботі (Leães та ін., 2016) автори не пояснювали такий «вибірковий» вплив типу індукторів на біологічну активність ПАР.

Зазначимо, що в доступній літературі нам не вдалося знайти повідомлень про підвищення біологічної активності мікробних поверхнево-активних речовин за наявності у середовищі культивування продуцента інактивованих клітин біологічних індукторів.

Наші результати (див. табл. 1) і дані попередніх досліджень (Pirog, Kluchka, Skrotska & Stabnikov, 2020) показали, що антимікробна активність ПАР *R. erythropolis* IMB Ac-5017 не залежала від фізіологічного стану індукторів (живі чи інактивовані клітини). Аналогічні результати були встановлені під час дослідження впливу живих та інактивованих клітин *E. coli* IEM-1 і *B. subtilis* БТ-2 на біологічну активність ПАР, синтезованих *Nocardia vaccinii* IMB B-7405 (Пирог, Скроцька & Шевчук, 2020). У той же час живі клітини *B. subtilis* БТ-2 виявилися ефективнішими порівняно з інактивованими індукторами для продуцента ПАР *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 (Пирог, Іванов & Ярова, 2021). Так, використання як індуктора живих клітин *B. subtilis* БТ-2 дало змогу підвищити антимікробну активність ПАР *A. calcoaceticus* IMB B-7241 у 2,5—23, а інактивованих — всього у 2—8 раз порівняно з показниками, встановленими для поверхнево-активних речовин, синтезованих без цього індуктора.

Водночас у літературі є інформація про те, що для індукції біосинтезу певних метаболітів необхідна наявність у середовищі культивування продуцента тільки живих клітин конкурентних мікроорганізмів. Так, у 2011 р. Onaka із співавт. (Onaka, Mori, Igarashi & Furumai, 2011) встановили, що індукторами синтезу вторинних метаболітів (у тому числі й антибіотиків) представниками роду *Streptomyces* виявилися бактерії, які містили у складі клітинної стінки міколові кислоти (*R. erythropolis*, *Corynebacterium glutamicum*, *Tsukamurella pulmonis*). Пізніше (Asamizu та ін., 2015) було встановлено, що інактивовані клітини бактерій *T. pulmonis*, *R. erythropolis* і *Rhodococcus opacus* не індуквали синтез пігментів

штамом *Streptomyces lividans*. Очевидно, міколові кислоти, локалізовані у зовнішньому шарі бактеріальних клітин, впливають на вторинний метаболізм стрептоміцетів в результаті безпосередньої взаємодії бактерій-індукторів і бактерій роду *Streptomyces*.

Зазначимо, що (Leães та ін., 2016) досліджували вплив інактивованих клітин мікроорганізмів-індукторів лише на антимікробну активність синтезованих поверхнево-активних речовин, хоча цим продуктам мікробного синтезу притаманна й антиадгезивна активність.

Наші результати показали, що за наявності бактерій-індукторів утворювалися поверхнево-активні речовини *R. erythropolis* IMB Ас-5017, які характеризувалися високою як антимікробною (табл. 1), так і антиадгезивною (табл. 5) активністю, а також здатністю до руйнування бактеріальних і дріжджових біоплівки (табл. 2—4).

У наших дослідженнях внесення клітин конкурентних мікроорганізмів у середовище культивування *R. erythropolis* IMB Ас-5017 здійснювали як на початку процесу культивування, так і в кінці експоненційної фази росту. Це зумовлено тим, що поверхнево-активні речовини є вторинними метаболітами, синтез яких відбувається переважно у фазі сповільненого росту продуцента. Проте експерименти показали, що момент внесення бактерій-індукторів практично не впливав на біологічну активність синтезованих ПАР. Звичайно ж, з технологічної точки зору простішим є внесення інактивованих клітин індуктора на початку процесу культивування продуцента ПАР.

Висновки

Отже, в результаті проведених досліджень встановлено можливість регуляції біологічної активності поверхнево-активних речовин *R. erythropolis* IMB Ас-5017 внесенням у середовище культивування продуцента інактивованих клітин *E. coli* IEM-1 і *B. subtilis* БТ-2. Важливо, що за таких умов культивування антимікробна та антиадгезивна активність поверхнево-активних речовин бактерій роду *Rhodococcus* підвищується до рівня відомих у світі аміноліпідів та гліколіпідів (рамно- та софороліпідів).

Література

Пирог, Т. П., Иванов, М. С., Ярова, Г. А. (2020). Антимікробна активність поверхнево-активних речовин *Acinetobacter calcoaceticus* IMB В-7241, синтезованих за наявності біологічних індукторів. *Наукові праці НУХТ*, 27(4), 43—52. <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/36596>.

Пирог, Т. П., Скроцька, О. І., Шевчук, Т. А. (2020). Вплив біологічних індукторів на антимікробну, антиадгезивну активність та деструкцію біоплівки поверхнево-активними речовинами *Nocardia vaccinii* IMB В-7405. *Мікробіологічний журнал*, 82(3), 35—44. <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.03.035>.

Пирог, Т. П., Шевчук, Т. А., Петренко, Н. М., Палійчук, О. І., Іутинська, Г. О. (2018). Вплив умов культивування *Rhodococcus erythropolis* IMB Ас-5017 на властивості синтезованих поверхнево-активних речовин. *Мікробіологічний журнал*, 80(4), 13—27. doi: <https://doi.org/10.15407/microbiolj80.04.013>.

Ahmad, V., Jamal, Q. M. S., Siddiqui, M. U., Shukla A. K., Alzohairy, M. A., Al Karaawi M. A., Kamal, M. A. (2017). Methods of screening-purification and antimicrobial potentialities of bacteriocin in health care. *Current Drug Metabolism*, 18(9), 814—830. <https://doi.org/10.2174/1389200218666170116111309>.

- Alves, A. R., Sequeira, A. M., Cunha, Â. (2019). Increase in bacterial biosurfactant production by co-cultivation with biofilm-forming bacteria. *Letters in Applied Microbiology*, 69(1), 79—86. <https://doi.org/10.1111/lam.13169>.
- Asamizu, S., Ozaki, T., Teramoto, K., Satoh, K., Onaka, H. (2015). Killing of mycolic acid-containing bacteria aborted induction of antibiotic production by *Streptomyces* in combined-culture. *PLoS One*, 6,10(11):e0142372. doi: 10.1371/journal.pone.0142372.
- Bach, E., Passaglia, L. M. P., Jiao, J., Gross, H. (2022). *Burkholderia* in the genomic era: from taxonomy to the discovery of new antimicrobial secondary metabolites. *Critical Reviews in Microbiology*, 48(2), 121—160. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2021.1946009>.
- Bjerk, T. R., Severino, P., Jain, S., Marques, C., Silva, A. M., Pashirova, T., Souto, E. B. (2021). Biosurfactants: properties and applications in drug delivery. *Biotechnology and Ecotoxicology. Bioengineering (Basel)*, 8(8), 115. <https://doi.org/10.3390/bioengineering8080115>.
- Darbandi, A., Asadi, A., Mahdizade, Ari, M., Ohadi, E., Talebi, M., Halaj, Zadeh, M., Darb Emamie, A., Ghanavati, R., Kakanj, M. (2022). Bacteriocins: properties and potential use as antimicrobials. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 36(1):e24093. <https://doi.org/10.1002/jcla.24093>.
- De Giani, A., Zampolli, J., Di Gennaro, P. (2022). Recent trends on biosurfactants with antimicrobial activity produced by bacteria associated with human health: different perspectives on their properties, challenges, and potential applications. *Frontiers in Microbiology*,12:655150. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.655150>.
- Elshehry, G., Moghannem, S., Kalaba, M. (2017). Enhancement of *Streptomyces* sp. Mh-133 activity against some antibiotic resistant bacteria using biotic elicitation. *Al Azhar Bulletin of Science*, 9, 275—288. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15327.46242>
- Gomes, M. Z. V., Nitschke, M. (2012). Evaluation of rhamnolipids surfactants as agents to reduce the adhesion of *Staphylococcus aureus* to polystyrene surfaces. *Letters in Applied Microbiology*, 49(1), 960—965. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.11.025>
- Hifnawy, M., Hassan, H. M., Mohammed, R., Fouda, M., Sayed, A. M. (2020). Induction of antibacterial metabolites by co-cultivation of two red-sea-sponge-associated Actinomycetes *Micromonospora* sp. UR56 and *Actinokinetespora* sp. EG49. *Marine Drugs*, 18(5), 243—254. <https://doi.org/10.3390/md18050243>.
- Jaber, K. L., Reem, W. Y. (2014). An induction of undecylprodigiosin production from *Streptomyces coelicolor* by elicitation with microbial cells using solid state fermentation. *Iraqi Journal of Science*, 55, 1553—1562. <https://www.iasj.net/iasj/download/c865989c430112ab>
- Li, B., Li, Q., Xu, Z., Zhang, N., Shen, Q., Zhang, R. (2014). Responses of beneficial *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 to different soilborne fungal pathogens through the alteration of antifungal compounds production. *Frontiers in Microbiology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00636>.
- Leães, F. L., Velho, R. V., Caldas, D. G., Ritter, A. C., Tsai, S. M., Brandelli, A. (2016). Expression of essential genes for biosynthesis of antimicrobial peptides of *Bacillus* is modulated by inactivated cells of target microorganisms. *Research in Microbiology*, 167(2), 83—89. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2015.10.005>.
- Liang, L., Sproule, A., Haltli, B., Marchbank, D.H., Berru  , F., Overy, D.P., McQuillan, K., Lanteigne, M., Duncan, N., Correa, H., Kerr, R. G. (2019). Discovery of a new natural product and a deactivation of a quorum sensing system by culturing a “producer” bacterium with a heat-killed “inducer” culture. *Frontiers in Microbiology*, 9, 3351. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03351>.
- Liang, L., Wang, G., Haltli, B., Marchbank, D. H., Stryhn, H., Correa, H., Kerr, R. G. (2020). Metabolomic comparison and assessment of co-cultivation and a heat-killed inducer strategy in activation of cryptic biosynthetic pathways. *Journal of Natural Products*, 83(9), 2696—2705. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.0c00621>.
- Luti, K. J., Mavituna, F. (2011). Elicitation of *Streptomyces coelicolor* with dead cells of *Bacillus subtilis* and *Staphylococcus aureus* in a bioreactor increases production of undecylprodigiosin. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 90(2), 461—466. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-3032-2>.
- Luti, K. J. K., Yonis, R. W. (2013). Elicitation of *Pseudomonas aeruginosa* with live and dead microbial cells enhances phenazine production. *Romanian Biotechnological Letters*, 18(6), 8769—8778. https://www.researchgate.net/publication/259582702_Elicitation_of_Pseudomonas_aeruginosa_a_with_live_and_dead_microbial_cells_enhances_phenazine_production.

Onaka, H., Mori, Y., Igarashi, Y., Furumai, T. (2011). Mycolic acid-containing bacteria induce natural-product biosynthesis in *Streptomyces* species. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(2), 400—406. <https://doi.org/10.1128/AEM.01337-10>.

Pirog, T., Kluchka, L., Skrotska, O., Stabnikov, V. (2020). The effect of co-cultivation of *Rhodococcus erythropolis* with other bacterial strains on biological activity of synthesized surface-active substances. *Enzyme and Microbial Technology*, 142, 109677. <https://doi.org/10.1016/j.enzmttec.2020.109677>.

Pirog, T. P., Lutsay, D. A., Kliuchka, L. V., Beregova, K. A. (2019). Antimicrobial activity of surfactants of microbial origin. *Biotechnologia Acta*, 12(1), 39—57. <https://doi.org/10.15407/biotech12.01.039>.

Pirog, T. P., Shevchuk, T. A., Voloshina, I. N., Gregirchak, N. N. (2005). Use of claydite-immobilized oil-oxidizing microbial cells for purification of water from oil. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 41(1), 51—55. <https://doi.org/10.1007/s10438-005-0010-z>.

Rufino, R. D., Luna, J. M., Sarubbo, L. A., Rodrigues, L. R., Teixeira, J. A., Campos-Takaki, G. M. (2011). Antimicrobial and anti-adhesive potential of a biosurfactant Rufisan produced by *Candida lipolytica* UCP 0988. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 84(1), 1—5. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2010.10.045>.

Srinivasan, R., Kannappan, A., Shi, C., Lin, X. (2021). Marine bacterial secondary metabolites: a treasure house for structurally unique and effective antimicrobial compounds. *Marine Drugs*, 19(10), 530. <https://doi.org/10.3390/md19100530>.

SUSTAINABILITY OF DEVELOPMENT: FOOD SECURITY AND NUTRITION SECURITY AS A RESULT OF SUSTAINABILITY OF THE FOOD SYSTEM

H. Kundieieva, N. Skopenko

National University of Food Technologies

Key words:

*Sustainable development
Food security
Nutrition security
Food system
Sustainability
Indicator*

Article history:

Received 04.03.2022
Received in revised form
18.03.2022
Accepted 14.04.2022

Corresponding author:

H. Kundieieva
E-mail:
g_a_k@ukr.net

ABSTRACT

The article substantiates the urgent need to develop new approaches to the study of the food system, due to the acceleration of transformation processes, increasing uncertainty, new challenges and threats. The strategic direction of this research is sustainability of food systems. The interpretation of the food system as the totality of all activities, including the interaction of people and networks which exists in society for the transformation of primary resources into final goods, as well as their consumption and subsequent disposal, were justified. The food system should be viewed as a complex system, since each of its components can be classified as an independent system. The conceptual structure of the food system should reflect the relationships, interactions, trade-offs, feedback mechanisms, and drivers of systemic change which form system outcomes at multiple levels.

The methods for assessing the state of food security and statistical observations which can be used in determining the actual state of food security in the country were considered. Adequate methodology for assessing food security and nutrition security of the country was developed. The construction of a common indicator is implemented in three stages: — formation of a system of indicators; determination of appropriate indicators and normalization of values; calculation of integral indicators and the general indicator of food security and nutrition security. The system of indicators according to each indicator was clarified and the limit criteria were substantiated.

The results show that in Ukraine the problem of food and nutrition security has not yet been solved. The worst results have two indicators which illuminate the socio-economic problems of the country — the economic availability of food and consumption. It is necessary to apply various general economic and special levers to overcome poverty in the country. The results of the study can be applied in the development and implementation of a comprehensive systematic food policy which supports the transition to sustainable food systems.

СТІЙКІСТЬ РОЗВИТКУ: ПРОДОВОЛЬЧА БЕЗПЕКА ТА БЕЗПЕКА ХАРЧУВАННЯ ЯК РЕЗУЛЬТАТ СТІЙКОСТІ ПРОДОВОЛЬЧОЇ СИСТЕМИ

Г. О. Кундєєва, Н. С. Скопенко

Національний університет харчових технологій

У статті обґрунтовано назрілу необхідність розробки нових походів до дослідження продовольчої системи, що обумовлена прискоренням трансформаційних процесів, зростаючою невизначеністю, новими викликами та загрозами. Визначено стратегічний напрямок цих досліджень — стійкість продовольчих систем. Обґрунтовано трактування продовольчої системи як сукупності всіх видів діяльності, включаючи взаємодію людей і мережі, які існують у суспільстві для перетворення первинних ресурсів у кінцеві товари, а також їх споживання та подальшу утилізацію. Продовольчу систему необхідно розглядати як складну систему, оскільки кожен із її компонентів може бути класифікований як самостійна система. Концептуальна структура продовольчої системи повинна відображати відносини, взаємодії, компроміси, механізми зворотного зв'язку та рушійні сили системних змін, які, зрештою, формують результати системи на кількох рівнях.

Розглянуто методики оцінки стану продовольчої безпеки та наявність статистичних спостережень, які можна використовувати при визначенні дійсного стану продовольчої безпеки країни. Розроблено адекватну методику оцінки продовольчої безпеки і безпеки харчування країни. Побудова загального індикатора реалізується в три етапи: формування системи показників; визначення відповідних індикаторів і нормалізація значень; розрахунок інтегральних індикаторів і загального індикатора продовольчої безпеки та безпеки харчування. Уточнено систему індикаторів відповідно до кожного показника й обґрунтовані граничні критерії.

Отримані результати свідчать про те, що в сучасній Україні досі не вирішено проблему продовольчої безпеки та безпеки харчування. Найгірші результати мають два показники, які висвітлюють соціально-економічні проблеми країни — це економічна доступність продовольства та споживання. З боку держави необхідне застосування різноманітних загальноекономічних і спеціальних важелів подолання бідності в країні. Результати дослідження можуть бути застосовані при розробці та реалізації комплексної системної продовольчої політики, яка підтримує перехід до стійких продовольчих систем.

Ключові слова: *сталий розвиток, продовольча безпека, безпека харчування, продовольча система, стійкість, індикатор.*

Постановка проблеми. Найважливішим завданням сучасних продовольчих систем стає забезпечення продовольством зростаючого населення, що вимагає невідкладного планетарного рішення. Незважаючи на те, що глобальний обсяг виробництва харчових продуктів зростає, більше 690 млн людей хронічно голодують (World Hunger: Key Facts and Statistics Action against Hunger, 2021). Голод

супроводжується різними формами недоїдання, особливо в країнах з нижчим за середній рівень доходом. Багато біогеоценозів відчують негативний вплив з боку систем, що виробляють харчові продукти небезпечним для навколишнього середовища способом. Виробництво харчових продуктів та відходи продовольства зумовлюють 21—37% глобальних викидів парникових газів і значну деградацію навколишнього середовища (Cattaneo et al., 2020). Узгодження дій учасників продовольчої системи та досягнення значного прогресу у забезпеченні продовольчої безпеки вимагає комплексного, науково обґрунтованого механізму трансформації всієї системи продовольчого забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Успішне функціонування продовольчої системи світу є одним із ключових факторів досягнення цілей сталого розвитку. Сталий розвиток як стійкість трьох головних складових суспільного розвитку досліджений багатьма вітчизняними та зарубіжними дослідниками. У працях вчених визначено економічну стійкість як міцність і надійність елементів економічної системи, їх здатність протистояти внутрішнім та зовнішнім навантаженням; соціальну стійкість як здатність соціуму зберігати системні властивості при зміні внутрішніх і зовнішніх факторів; екологічну стійкість як здатність природної системи забезпечувати її цілісність та збалансований розвиток протягом тривалого часу за рахунок нівелювання впливів зовнішніх і внутрішніх факторів (Buzan, Wæve & Wilde, 1998; Білорус & Мацейко, 2005; Rockström et al., 2009; Mavrotas G., 2011; Jackson, 2015).

Традиційні підходи дослідження питань продовольства — це секторальні чи ланцюгові підходи (ланцюжки створення вартості), у яких втручання часто спрямоване на оптимальне використання засобів виробництва (природних ресурсів, праці, капіталу). В Україні, під час обговорення питань продовольства, розглядається конкретна частина процесу — сільське господарство чи раціон харчування, тому більшість вітчизняних досліджень зосереджено на конкретному товарі (виробник, ринки чи споживачі); конкретній проблемі (раціон, вплив на навколишнє середовище тощо). Такий підхід до вирішення продовольчого забезпечення створює серйозні проблеми для забезпечення продовольчої безпеки та безпеки харчування.

Огляд наукових досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених дав змогу визначити різні за змістом підходи до визначення продовольчої безпеки: збалансованість між пропозицією харчових продуктів і поточним споживчим попитом населення (Мудрак, 2007); економічний розвиток і соціально-політична стабільність у суспільстві (Гришова & Крюкова, 2014); виробництво сільськогосподарської сировини та її промислова переробка (Чечель, 2005) тощо. Різними є цілі досягнення: гарантія забезпечення доступу особи (населення) до продовольства (Мудрак, 2014); запорука задоволення потреб населення харчовими продуктами (Бойко, 2006); гарантія забезпечення ринкової пропозиції життєво важливих продовольчих товарів з власних джерел (Батюк, 2010); забезпечення доступності й достатності продовольчого споживання всім верствам населення переважно за рахунок вітчизняного агропродовольчого виробництва (Пасхавер, 2007); доступ кожного громадянина до продовольства у будь-який час (Одінцов, 2010); забезпечення внутрішнього ринку продовольчими товарами та ресурсами (Калетнік & Пчелянська, 2011).

Більшість досліджень стосуються виробництва та розподілу продовольства, проте окремі вітчизняні дослідники вказали на необхідність забезпечення здоров'я й відтворення населення країни (Лукінов & Саблук, 2000; Гойчук, 2003). Наукові підходи, принципи та умови формування системи продовольчого забезпечення, де виокремлено забезпеченість повноцінного і здорового харчування, визначені дослідниками (Мостенська & Кундєєва, 2016; Скидан & Гринишин, 2020).

Для розгляду інтересів, пов'язаних з надійністю виробництва та споживання продовольства, екологічною стійкістю, здоров'ям населення як корисна аналітична основа все частіше застосовується системний підхід, зокрема підхід на основі продовольчих систем. Такий підхід охоплює різні елементи продовольчої системи та взаємозв'язку між ними. Він розглядає, з одного боку, всі види діяльності, пов'язані з виробництвом, переробкою, розподілом і використанням продовольства, а з іншого — результати цієї діяльності з погляду продовольчої безпеки (включаючи харчування), соціально-економічної сфери (доходи, зайнятість) та навколишнього середовища (біорізноманіття, клімат) (Nguyen, 2018). Забезпечення стійкості продовольчої системи та взаємодії між її компонентами задля створення майбутнього, в якому всі люди матимуть доступ до здорового харчування, потребує поглибленого дослідження. Виходячи із того, що забезпечення продовольчої безпеки та безпеки харчування є одним із напрямів зміцнення здоров'я людини та створення умов для накопичення і розвитку людського капіталу, актуальним стає формування стійкої продовольчої системи. Моніторинг стану продовольчої безпеки країни вказує на результати дій, які здійснюються в рамках діяльності продовольчої системи й тому необхідна чітка система оцінювання стану продовольчої безпеки та безпеки харчування в Україні.

Мета статті: формування системи комплексного оцінювання сучасного стану продовольчої безпеки та безпеки харчування, яка дає змогу, з одного боку, визначити ефективність продовольчої системи країни, а з іншого — обґрунтувати прийняття рішень, необхідних для подолання голоду та недоїдання в країні.

Матеріали і методи. У процесі дослідження використано сукупність загальнонаукових і спеціальних методів наукового пізнання, зокрема: абстрактно-логічний (для обґрунтування теоретичних узагальнень, формулювання висновків); системно-структурного аналізу, формальної логіки та наукової абстракції (для визначення сутнісної характеристики ключових понять); індуктивний метод і метод групувань — у процесі збору та обробки інформації; економіко-статистичний, індексний методи (для оцінювання показників та індикаторів продовольчої безпеки); методи нормування, інтегрального оцінювання (для інтегрального оцінювання рівня продовольчої безпеки України).

Вимірювання продовольчої безпеки країни використовує два підходи: перший підхід заснований на припущенні, що безпека вимірюється на основі одного інтегрального показника; другий підхід базується на припущенні, що продовольча безпека — поняття багатовекторне, яке визначається системою показників різної ваги й постає питання їх диференціації на найбільш вагомій та другорядній. Відбувається певне конструювання узагальнюючого показника для оцінки й аналізу окремих складових продовольчої безпеки та прийняття рішень з її забезпечення. Застосовуючи другий підхід, можна оцінити окремі складові продовольчої

безпеки. В дослідженні зроблено поєднання цих двох підходів, що дає змогу визначити інтегральні вимірювачі як для кожної складової продовольчої безпеки, так і для оцінки стану продовольчої безпеки країни загалом. Але, оскільки не існує критеріїв, що обґрунтовують зважування, можна покладатися на незважене агрегування, яке означає, що кожен показник має однакову вагу в рамках певного виміру, і всі виміри оцінюються однаково (Berkum & Ruben, 2021). Спираючись на цю тезу, ми не робимо диференціації показників на найбільш вагомій та другорядній, а тому надаємо рівного значення всім показникам.

Кожна складова продовольчої безпеки характеризується сукупністю чисельних її властивостей ($z_{1,t}, z_{2,t}, \dots, z_{n,t}$), що можна визначити у вигляді вектора (1), складники якого повинні бути безрозмірними величинами, тоді як вихідні індикатори можуть мати різні розмірності (Харазішвілі & Дронь, 2014).

$$\overline{Z}_t = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}, \quad (1)$$

Під інтегральним показником по кожній складовій варто розуміти нормовану безрозмірну величину, яка отримана одним із методів нормування. Ми зосереджуємося на методі нормування з використанням порогових критеріїв, але відповідно до рекомендацій (Харазішвілі & Дронь, 2014) одночасне нормування індикаторів здійснювалося за максимальним значенням для індикаторів-стимуляторів і мінімальним — для індикаторів-дестимуляторів.

Для визначення порогових значень індикаторів продовольчої безпеки використовуємо законодавчий підхід і метод експертних оцінок, що враховує оцінки міжнародних організацій.

Для визначення інтегрального показника для кожної складової використано два відповідних правила щодо композитних показників (Sirone, Seppala, & Leskinen, 2015):

- якщо передбачається, що один або кілька вимірювань можуть бути замінені іншим, то для розрахунку сукупного індексу досить простого середнього арифметичного. Якщо ж, навпаки, передбачається/очікується, що виміри будуть не компенсаційними, слід використовувати середнє геометричне для зменшення впливу сильно нерівних значень на сумарний результат;

- якщо різні елементи/змінні в рамках одного виміру сильно корелюють один з одним, то в рамках цього виміру слід використовувати арифметичну формулу; якщо ж, навпаки, ступінь перехресної кореляції між змінними виявляється низьким, слід використовувати середнє геометричне.

Викладення основних результатів дослідження. Теорія сталого розвитку як реакція на кризу виникла в результаті нездатності суспільства адаптуватися до швидкозмінних умов навколишнього середовища, втрати здатності до саморегуляції, до ефективного управління. В звіті міжнародної комісії з довкілля і розвитку (Brundtland, 1987) надано визначення сталого розвитку як розвитку, який задовольняє потреби теперішнього часу, але не ставить під загрозу здатності майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби. Виокремлено поняття потреб, зокрема потреб, необхідних для існування бідних верств населення, що має бути предметом первинного пріоритету.

Історичний аналіз становлення теорії сталого розвитку та глобальної продовольчої безпеки показує їх майже одночасне виникнення, що обумовлено існуванням тісного об'єктного зв'язку між глобальною продовольчою безпекою та

сталим розвитком. Цей об'єкт — якість життя людини та її здоров'я, і саме тому цілі сталого розвитку та продовольчої безпеки тотожні. Глобальна мета сталого розвитку — здорове, плодотворне існування в гармонії з довкіллям як сучасного покоління, так і майбутнього на основі збереження, охорони та збагачення природи й історико-культурної спадщини. А мета продовольчої безпеки — це тривале активне здорове життя людини.

Забезпеченню продовольчої безпеки та безпеки харчування нинішнього та майбутніх поколінь без шкоди для економічних, соціальних та екологічних основ розвитку повинні сприяти продовольчі системи. Група експертів високого рівня ФАО (HLPE) визначає продовольчу систему як «діяльність, що відноситься до виробництва, переробки, розподілу, приготування та споживання харчових продуктів, а також результати цієї діяльності, включаючи соціально-економічні та екологічні результати» (HLPE, 2014). У проєкті «Про схвалення Стратегії продовольчої безпеки на період до 2030 року» пропонується таке визначення продовольчої системи: «Продовольча система — усі учасники ланцюга виготовлення харчових продуктів (від первинного виробництва до реалізації продукції споживачеві), їх взаємозв'язана діяльність по створенню доданої вартості, пов'язана з виробництвом, змішуванням, переробкою, розподілом, споживанням та утилізацією харчових продуктів. Продовольчі системи охоплюють усі харчові продукти та продукти первинного виробництва, включаючи продукцію рослинництва і тваринництва, лісового господарства, рибальства та аквакультури, а також економічні, соціальні та природні умови в яких взаємодіють різні виробничі системи». (Про схвалення Стратегії продовольчої безпеки на період до 2030 року, 2020). Таке визначення надано у звіті «Стан справ у галузі продовольчої безпеки та харчування у світі — 2021. Перетворення продовольчих систем на користь забезпечення продовольчої безпеки, покращення якості харчування та економічної доступності здорових раціонів харчування для всіх» (ФАО, МФСР, ЮНІСЕФ, ВПП і ВОЗ, 2021). Проте в цьому документі зроблено зауваження: «Термін «агропродовольчі системи», що все частіше використовується в контексті перетворення продовольчих систем з метою забезпечення їх стійкості та інклюзивності, є більш загальним, оскільки включає як сільськогосподарські, так і продовольчі системи і охоплює як продовольчу, так і непродовольчу продукцію сільського господарства, які часто дублюються» (ФАО, МФСР, ЮНІСЕФ, ВПП і ВОЗ, 2021, с. 217).

На основі докладних обговорень у контексті дослідження Консультативної групи міжнародних сільськогосподарських досліджень «Продовольчі системи для здоровішого харчування» зроблено таке визначення: продовольча система — це повний набір процесів, видів діяльності, інфраструктури та навколишнього середовища, що охоплюють виробництво, переробку, розподіл, утилізацію відходів та споживання харчових продуктів. Продовольчі системи є багатовимірними, включаючи соціокультурні, економічні, екологічні та політичні аспекти, та складними, з безліччю учасників: виробники продуктів харчування, учасники харчового ланцюга та споживачі (CGIAR, 2021).

Спираючись на наведені дані щодо наявності значних проблем у подоланні голоду, необхідно зазначити проблему стійкості та трансформації продовольчих систем. Експерти високого рівня з питань продовольчої безпеки та харчування

HLPE (HLPE. Nutrition and Food Systems, 2017) пов'язують стійкість продовольчої системи із забезпеченням продовольчої безпеки. На їхню думку, стійка продовольча система — це система, «яка забезпечує продовольчу безпеку та харчування для всіх таким чином, щоб не наражати на небезпеку економічні, соціальні та екологічні основи забезпечення продовольчої безпеки та харчування майбутніх поколінь».

Досягнення Цілей сталого розвитку Організації Об'єднаних Націй (ООН) до 2030 року потребує трансформації продовольчих систем, включаючи, крім іншого, ширший доступ до безпечних і поживних продуктів харчування (завдання 2.1), стійкіші сільськогосподарські системи (завдання 2.4), скорочення передчасної смертності від неінфекційних захворювань (завдання 3.4), сприяння створенню безпечних та надійних умов праці (завдання 8.8) та стале управління природними ресурсами (завдання 12.2) (United Nations. Sustainable Development Goals, 2021). Для досягнення цих амбітних цілей ООН заснувала Десятиліття дій у галузі харчування.

Програма Десятиліття дій з проблем харчування розроблена в рамках інклюзивного безперервного процесу. Метою Десятиліття дій є створення чітко визначеного і прив'язаного до певного строку плану роботи, покликаного в рамках існуючих структур і наявних ресурсів забезпечити виконання зобов'язань, що були прийняті на II Міжнародній конференції з питань харчування і в Порядку денному зі сталого розвитку на період до 2030 року. Програма Десятиліття дій охоплює шість наскрізних і взаємопов'язаних напрямків діяльності:

- 1) формування стійких і несприйнятливих до зовнішніх впливів продовольчих систем, які сприяють оздоровленню раціонів харчування;
- 2) координація діяльності систем охорони здоров'я з метою забезпечення загального охоплення населення найважливішими заходами в галузі харчування;
- 3) соціальний захист і просвіта з питань харчування;
- 4) торгівля та інвестиції в інтересах поліпшення харчування;
- 5) створення безпечних і сприятливих умов для забезпечення харчування в будь-якому віці;
- 6) зміцнення механізмів управління та підзвітності в галузі харчування (United Nations. The United Nations Decade of Action on Nutrition, 2016).

Стосовно першого напрямку діяльності слід зазначити, що економічні аспекти стійких продовольчих систем формуються з погляду цін на продовольство та доступності продовольства (Herforth et al., 2020). Соціальні аспекти стійких продовольчих систем вимірюються з використанням будь-якої кількості конструкцій, від споживчих переваг, поведінки до питань праці й сприйняття цінності продовольчих систем для суспільства (Johnston, Fanzo & Cogill, 2014). Нарешті, екологічні аспекти продовольчих систем вимірюються з погляду використання енергії, води та землі, що пов'язані з виробництвом, розподілом, роздрібною торгівлею, споживанням, утилізацією та відходами харчових продуктів (Perignon et al., 2017). Нині основна увага приділяється економічному виміру стійкості продовольчих систем стосовно продовольчої безпеки та безпеки харчування у всьому світі.

Термін «безпека харчування» використовується з 1995 року. Безпека харчування визначається як належний рівень харчування з точки зору достатності білків, калорій, вітамінів і мінералів для всіх членів домогосподарства в будь-який час

(Всесвітня декларація і план дій в галузі харчування, 1996), тобто визначено важливість відповідної структури харчування. У праці «Постановка питань харчування як головних питань розвитку» визначено, що безпека харчування існує тоді, коли продовольча безпека поєднується з умовами санітарії, відповідним рівнем охорони здоров'я та належними режимами харчування і медичним обслуговуванням з метою забезпечення здорового життя всім членам домогосподарств (Шакір, 2006). Відповідно до зазначеного можна стверджувати, що безпека харчування включає не тільки якісний і кількісний склад харчових продуктів, а й режим харчування, виконання якого цілком лежить у площині відповідального ставлення людини до власного здоров'я.

Виходячи із вищевизначеної вагомості харчування, вважаємо, що в обґрунтуванні показників оцінювання стану продовольчої безпеки необхідно враховувати біологічний (раціон або дієта), економічний і соціальний аспекти харчування. Аналіз стійкості харчування стає дієвим, якщо він об'єднує складові продовольчих систем і деякі статистичні дослідження роблять це добре. Проте в багатьох регіонах існують великі прогалини в даних щодо продовольчих систем (Marshall et al., 2021).

Для оцінки стану продовольчої безпеки FAO сформувала систему показників (Food and Agriculture Organization of the United Nations), що об'єднані в чотири групи: наявність (availability, 5 показників), доступ (access, 8 показників), стабільність (stability, 6 показників) та використання (utilization, 11 показників). Вибір показників у базі FAO «Food security indicators» заснований на думці експертів та обмежений даними, які можна зібрати у більшості країн. Отриманий набір показників, опублікований FAO, дає змогу дослідникам проводити зіставлення як між регіонами, так і у часі. Проте американський дослідник, обговорюючи можливість застосування показників наявності, доступу, стабільності та використання продовольства для управління продовольчою безпекою, зазначив, що продовольча безпека є погано визначеною, неоднозначною, спірною концепцією, що надзвичайно важко застосовується (Candel, 2014).

Рейтинг глобальної продовольчої безпеки формується на основі показника Глобальний індекс продовольчої безпеки (Global Food Security Index) Інститутом економічних досліджень (The Economist Intelligence Unit) за фінансової підтримки американської транснаціональної компанії DuPont (Global food security index, 2020). Індекс використовується з 2012 р., виявляє основні проблеми доступності, наявності, якості та безпеки продовольства, а також природних ресурсів та стійкості в 113 країнах. Індекс є динамічною кількісною і якісною еталонною моделлю, побудованою на основі 58 показників, які вимірюють рушійні сили продовольчої безпеки як у країнах, що розвиваються, так і в розвинених. «Доступність» оцінює здатність споживачів набувати продовольства, їх вразливість перед ціновими потрясіннями та наявність програм і стратегій підтримки споживачів у разі виникнення потрясінь. «Наявність» дає змогу оцінити достатність продовольства в країні, ризик порушення його постачання, можливості поширення результатів науково-дослідних розробок у розширення сільськогосподарського виробництва. «Якість та безпека» надає можливість оцінити різноманітність та якість раціону харчування, а також безпеку харчових продуктів. «Природні ресурси та стійкість» оцінює схильність країни до впливу клімату, що змінюється; схильність до

ризиків, пов'язаних з природними ресурсами; спроможність адаптуватися до ризиків, що впливають на масштаби відсутності продовольчої безпеки в країні. Слід зазначити, що ця категорія була вперше введена в GFSI в 2017 р. як коригуючий фактор і, враховуючи її зростаюче значення, у 2020 р. вже була включена в основний індекс.

До основних методик оцінки продовольчої безпеки на національному рівні відносяться: секторний аналіз; демографічне обстеження й обстеження стану здоров'я — Demographic and Health Surveys (DHS); обстеження витрат домогосподарства — Household Expenditure Survey (HES); метод обстеження рівня життя — Living Standards Measurement Study (LSMS); метод рахунку використання поставок — Single Use Accounts (SUA) і продовольчі баланси — Food Balance Sheet (FBS); індекс багатовимірної продовольчої безпеки — FIMI Food Insecurity Multi-dimensional Index (FBS) (Урба, 2017).

В останні роки спостерігається тенденція зростання уваги науковців до оцінки стійкості продовольчих систем, стійкості розвитку. Когортою американських дослідників (Conrad et al., 2021) проаналізовані загальнодоступні джерела даних за такими сферами стійкості — харчування, мікроекономіка та навколишнє середовище на прикладі США через велику кількість загальнодоступних і сильно дезаггегованих наборів даних про продовольчі системи. У той час як більшість досліджень стійкості зосереджено на міжнародному чи глобальному контексті (Reinhardt et al., 2020) колективом дослідників (Conrad et al., 2021) висвітлено національне обстеження здоров'я та харчування (NHANES), що є найбільш докладним національним джерелом репрезентативних даних про харчування на індивідуальному рівні; центр даних про продукти харчування (FDC) — дані про вміст поживних речовин для більш ніж 8000 харчових продуктів, які отримані на основі аналізів, проведених Міністерством сільського господарства США (USDA), наукової літератури, розрахунків і даних харчової промисловості. Також проаналізовано декілька найчастіше використовуваних індексів у дослідженнях США, які по-різному оцінюють якість раціону харчування, виходячи з пріоритету здоров'я: індекс здорового харчування (HEI), що вимірює дотримання керівних принципів харчування для американців; індекс альтернативного здорового харчування (AHEI), що оцінює споживання груп продуктів харчування (поживних речовин) та пов'язаних з ними ризиком хронічних захворювань; індекс багатих на поживні речовини харчових продуктів (NRF 9.3) що оцінює щільність поживних речовин у структурі харчування. У дослідженні (Conrad et al., 2021) зазначено, що статистичні підходи, які використовуються у США, можуть бути придатні до аналізу продовольчих систем в інших країнах.

В Україні за даними вибіркового обстеження умов життя домогосподарств формується статистичний бюлетень «Витрати і ресурси домогосподарств України», де є дані щодо витрат на споживання продуктів харчування у домогосподарствах і середньодушкове споживання продуктів харчування за місяць у натуральних одиницях виміру (кг, од.). При розрахунках цього показника спжиті продукти харчування перераховуються в первинний продукт, наприклад, масло тваринне — в молоко, ковбаса — в м'ясо. Державна служба статистики здійснює дослідження «Самооцінка населенням стану здоров'я» через опитування осіб, що

брали участь у вибіркового обстеженні умов їхнього життя. Мета цього спостереження — доступність для населення послуг охорони здоров'я, ліків і медичних товарів та отримання інформації щодо самооцінки стану здоров'я й рівня захворюваності населення.

Статистичний бюлетень «Самооцінка домогосподарствами доступності окремих товарів та послуг» містить інформацію що стосується продовольчої безпеки — недостатність коштів у населення для того, щоб не відмовляти в найнеобхідніших недорогих харчових продуктах і споживанні страви з м'ясом, курятиною, рибою (або їх вегетаріанським еквівалентом) через день. У статистичному щорічнику України вміщено дані про споживання продуктів харчування у домогосподарствах, споживання продуктів харчування у домогосподарствах залежно від їх чисельного складу, споживання продуктів харчування у домогосподарствах із дітьми залежно від кількості дітей у їх складі, споживання продуктів харчування у домогосподарствах за квінтільними (20%) групами за рівнем середньодушових еквівалентних загальних доходів, споживання харчових продуктів, споживання основних мікро- і макроелементів.

Показники продовольчих систем важливі для опису поточного стану продовольчих систем, можливості кількісної оцінки взаємозв'язків, необхідних для вивчення причинно-наслідкових механізмів, оцінки впливу запропонованих змін і вимірювання ефективності державного втручання (Allen & Prosperi, 2014; Global Panel, 2015; McDermott et al., 2015). Щоб набір показників був вичерпним, їх групують відповідно до концептуальній структурі, що окреслює всі ключові компоненти продовольчих систем. Система індикаторів для аналізу та оцінки продовольчої безпеки України має виступати засобом визначення її стратегічних цілей. Кожному показнику повинна відповідати обмежена кількість цільових індикаторів, які б мали порогові критерії, що дало б змогу здійснювати моніторинг відповідних індикаторів.

При відборі показників враховуємо можливість застосування як вартісних, так і натуральних показників та використання статистичної бази. Доцільно визначити мінімальну кількість показників, що зможуть повно відобразити соціально-економічні процеси, які впливають на стан продовольчої безпеки та при розрахунках показників дають змогу застосовувати математичні методи. При створенні інтегрального показника продовольчої безпеки за основу взято методіку інтегрального оцінювання рівня економічної безпеки держави, яка запропонована вітчизняними дослідниками (Харазішвілі & Дронь, 2014) і рекомендації для оцінки показників продовольчої безпеки (Vhurumuku, 2014).

З огляду на зазначений орієнтир — самодостатність країни у виробництві харчових продуктів, аналізуємо індикатори, які стосуються показника фізична доступність або «достатність продовольства». Фізичну доступність продовольства можна оцінювати за допомогою показника самозабезпеченості основними видами продовольства і рівнем їх перехідних залишків. Державна статистика використовує термін «рівень самозабезпечення», який розраховується як відношення виробництва i -го основного продукту до його внутрішнього використання на території країни (Державна служба статистики України, 2020). Це цілком логічно, якщо досліджувати забезпечення продовольчої безпеки за виробничим підходом.

З позиції споживання, на нашу думку, доцільно визначити індикатор самозабезпечення — співвідношення фактично виробленого обсягу *i*-ї групи продовольства (рік) до обсягу цього виду продовольства за фізіологічними нормами споживання. Граничним критерієм для зазначеного показника визначено його рівень у 100%.

Наступний індикатор — індикатор незалежності, який розраховується як співвідношення між обсягом імпорту окремого продукту в натуральному вимірі та обсягом його внутрішнього споживання. Граничним критерієм для зазначеного показника вважається його рівень у 30% (Харазішвілі & Дронь, 2014). На нашу думку, самодостатність залежить від демографічної ситуації в країні, тому пропонуємо індикатор — коефіцієнт депопуляції, який являє собою відношення числа померлих до народжених. Коли мова йде про депопуляцію (про вимирання населення), то мається на увазі саме негативна величина природного приросту населення, тобто перевищення числа померлих над числом народжених. У третині європейських держав на сьогодні фіксується природне скорочення населення й, враховуючи це, погоджуємось із запропонованим у (Харазішвілі & Дронь, 2014) пороговим значенням індикатора природного приросту населення на рівні 1,2.

Наступним індикатором, який характеризує самодостатність продовольства, ми пропонуємо індикатор розораності землі — відношення площ ріллі до сільськогосподарських угідь, причому розораність земель сільськогосподарських угідь на рівні 60—80% вважається несприятливою, 25—60% — умовно сприятливою і менше 25% — сприятливою. З огляду на сучасний стан олігополізації аграрного сектору вважаємо за доцільне визначення граничного критерію медіанним методом в межах умовно сприятливої розораності ріллі — 42%.

Другий показник — показник економічної доступності, що включає:

- індикатор абсолютної бідності (злиденність, найбільш глибока бідність) — стан, що не дає змоги індивіду забезпечити навіть фізіологічні потреби (недоїдання чи навіть голод) розраховується як частка населення з грошовими доходами нижче законодавчо встановленого прожиткового мінімуму. Граничний критерій — 10% (визначено методом експертного опитування);

- індикатор купівельної спроможності населення — частка витрат на харчування в структурі витрат домашніх господарств на кінцеве споживання. Граничний критерій (30%) визначено методом експертного опитування;

- індикатор задоволення фізіологічних потреб населення в основних харчових продуктах — визначається як співвідношення між фактичним споживанням окремого продукту та його фізіологічною нормою. Окремі вчені визначають це співвідношення як фізичну достатність, але, на нашу думку, цей індикатор характеризує саме економічну доступність основних груп продовольства. Населення України споживає хліба більше за фізіологічну норму насамперед тому, що інші продукти є недоступними за ціною. Граничний критерій — 100%, або одиниця (Постанова Кабінету Міністрів України № 656, 2000).

- рівень інфляції або індекс споживчих цін — показник, що характеризує зміни загального рівня цін на товари та послуги, які купує населення для невиробничого споживання. Граничний критерій — 10%, що відповідає очікуваній інфляції.

Виходячи з того, що проблема продовольчої безпеки повинна розглядатися не тільки у вузькому сенсі як проблема агропромислового сектору, але і в широкому сенсі як макроекономічна проблема, що пов'язана з ефективністю суспільного

виробництва, рівнем і диференціацією доходів населення, безробіттям, інфляцією, вважаємо за необхідне до ознаки «стабільність» віднести такі макроекономічні показники як рівень безробіття та рівень диференціації суспільства. В економіці, яка не зростає, дохід однієї групи населення може збільшуватися лише за рахунок іншої, що може призвести до конфліктів розподілу.

Рівень безробіття — відношення чисельності безробітного населення, розрахованого за методологією МОП, до загальної чисельності економічно активного працездатного населення. Граничний критерій — 6% (законодавчо визначений рівень природного безробіття).

- індикатор диференціації вартості харчування за соціальними групами, що розраховується як співвідношення між вартістю харчування 20% домогосподарств із найбільшими доходами та вартістю харчування 20% домогосподарств із найменшими доходами (проведений аналіз споживання встановив існування залежності споживання продовольства від соціальних страт). Граничний критерій — 1,2 (визначено методом експертного опитування).

Зі стабільністю продовольства тісно пов'язана достатність стратегічних запасів держави — це можливість постачання населенню продовольства в розмірах споживчого кошика у випадках надзвичайних ситуацій. Для України — це достатність запасів зерна у державних ресурсах, що визначається як співвідношення між обсягами продовольчого зерна в державному резерві та обсягами внутрішнього споживання населенням хліба і хлібопродуктів у перерахунку на зерно. Державний інтервенційний фонд для забезпечення продовольчої безпеки має становити не менш 20% обсягу річного внутрішнього споживання продукту за попередній маркетинговий період (ст. 9 Закону України «Про державну підтримку сільського господарства», 2004), але така інформація складає державну таємницю. Виходячи з цього, вважаємо за можливе застосування індикатора — виробництво зерна на одну особу за рік, який висвітлено дослідниками (Харазішвілі & Дронь, 2014). Враховуючи природні особливості країни та запропоновані вище вказаними дослідниками порогові значення, вважаємо доцільним значення цього індикатора — 1,4 т зерна на особу.

Для окремої людини стан стабільності продовольства тісно пов'язаний із тривалістю життя. Взагалі, як стверджує американський дослідник, рівень смертності є віддзеркаленням здатності суспільства до трансформації наявних економічних ресурсів у найбільш важливий продукт — здоров'я нації, а індикатор смертності та/або інтегрований показник середньої очікуваної тривалості життя можуть сказати більше про рівень і напрями розвитку суспільства, ніж складні макроекономічні показники (Sen, 1986). Саме тому вважаємо за необхідне визначити наступний індикатор — індикатор тривалості життя, а за граничний критерій визначаємо тривалість не менша 75 років для обох статей.

Споживання як процес харчування населення залежить насамперед від збалансованості харчування не тільки за енергетичною ознакою, а й за збалансованістю за макро- і мікронутрієнтами, тому необхідно врахувати:

- індикатор добової енергетичної цінності раціону людини визначається як сума добутоків одиниці маси окремих видів продуктів, що споживаються людиною протягом доби — індикатор енергетичної цінності раціону харчування. Граничний критерій встановлено у 2500 ккал на добу (Харазішвілі & Дронь, 2014).

- індикатор збалансованості енергетичної цінності як співвідношення енергетичної цінності споживання продуктів тваринного походження до продуктів рослинного походження. Відповідно до рекомендацій МОЗ, 55% добового раціону повинно забезпечуватися за рахунок споживання продуктів тваринного походження, тому граничний критерій приймає значення — 1,22.

- індикатор структури харчування — величина відносних відхилень фактичного споживання макронутрієнтів (білок, жир, вуглеводи) до рекомендованих норм. Граничним критерієм для зазначеного показника вважається співвідношення 1:1,2:4 (Постанова Кабінету Міністрів України № 656, 2000);

- індикатор збалансованості харчування за мікроелементами, який розраховується як кількість фактичного споживання мікронутрієнтів до рекомендованих норм. Граничним критерієм для зазначеного показника вважається одиниця (Постанова Кабінету Міністрів України № 656, 2000).

Комплексне визначення внеску кожного показника до питань забезпечення продовольчої безпеки представлено у вигляді сукупного фактора. Для обчислення кого була розрахована матриця кореляції та отримані результати: кілька високих позитивних та/або негативних крос-кореляцій демонструють стабільність і достатність й тому цих двох вимірів були використані арифметичні середні. Доступність і споживання характеризуються низькою внутрішньою крос-кореляцією — тому для цих двох вимірювань були використані геометричні середні. У нашому випадку зроблено припущення — мінімальний вплив компенсації між чотирма вимірами продовольчої безпеки и безпеки харчування (достатність, доступність, стабільність та споживання) и тому застосовано середнє геометричне між чотирма вимірами. Результати розрахунку наведено у таблиці.

Головна загроза продовольчій безпеці та безпеки харчування України, як свідчать наведені вище розрахунки, не виробництво, а соціально-економічний аспект. Це пов'язано з тим, що істотна диференціація доходів населення актуалізує проблему економічної доступності продовольства.

Таблиця. Оцінка стану забезпечення продовольчої безпеки та безпеки харчування України, 2015—2019 рр.*

Показники, індикатори продовольчої безпеки	Граничні	Фактичне значення, роки					Нормоване значення, роки				
	Критерії	2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
самодостатність (фізичний доступ) продовольства											
індикатор самозабезпечення	1	2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,00	2,30	2,40	2,60	2,70
індикатор незалежності	30%	16,1	17,2	12,9	16,4	17,6	1,86	1,74	2,33	1,83	1,70
індикатор природного приросту (скорочення) населення країни	1,2	1,5	1,5	1,4	1,8	1,9	0,83	0,82	0,88	0,69	0,64
індикатор розораності землі	42%	76,2	76,2	76,2	76,2	76,2	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
інтегральний індикатор самодостатності							1,31	1,35	1,54	1,42	1,40
доступність (економічна) продовольства											
індикатор бідності	10%	6,4	3,8	2,4	1,3	1,8	0,64	0,38	0,24	0,13	0,18

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
індикатор купівельної спроможності населення	30%	54,5	54,3	51,7	53,8	53,0	1,82	1,81	1,72	1,79	1,77
рівень інфляції	110%	148,7	113,9	113,4	109,8	104,1	0,74	0,97	0,97	1,00	1,06
індикатор задоволення фізіологічних потреб в основних продуктах харчування	1	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,74	0,73	0,81	0,83	0,83
інтегральний індикатор доступності							0,89	0,83	0,76	0,66	0,73
стабільність продовольства											
достатність зерна (т/на особу)	1,4	1,4	1,6	1,5	1,7	1,8	1,00	1,11	1,04	1,19	1,28
індикатор диференціації вартості харчування за соціальними групами	1,2	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	0,81	0,75	0,74	0,72	0,68
рівень безробіття	6%	9,5	9,3	9,5	9,1	8,6	0,63	0,65	0,63	0,66	0,70
індикатор тривалості життя	75 років для обох статей	71,4	71,7	72,0	71,8	72,0	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96
інтегральний індикатор стабільності							0,85	0,87	0,84	0,88	0,90
споживання продовольства (безпека харчування)											
індикатор енергетичної цінності (добова енергетична цінність раціону людини)	2500	2799	2742	2706	2707	2691	1,12	1,10	1,08	1,08	1,08
індикатор збалансованості енергетичної цінності	0,75	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,52	0,53	0,53	0,55	0,56
індикатор структури харчування	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,70	0,70	0,75	0,75	0,70
індикатор збалансованості харчування за мікроелементами	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,02	1,02	1,02	1,03	1,02
інтегральний індикатор споживання продовольства							0,80	0,80	0,82	0,82	0,81
Загальний індикатор продовольчої безпеки та безпеки харчування							0,95	0,94	0,95	0,91	0,93

Примітка: розраховано авторами на основі (Державна служба статистики України, 2015—2019).

Значне майнове розшарування населення сприяє формуванню на продовольчому ринку України двох чітко окреслених сегментів: ринок продовольства для багатих і ринок продовольства для бідних.

У ситуації, коли харчування є достатнім за калорійністю, але воно не збалансоване за основними макроелементами з точки зору його структури, виникає загроза забезпеченню продовольчої безпеки та безпеки харчування. В Україні

через складну соціально-економічну ситуацію існує тенденція до розбалансування харчування населення. Населення, виходячи з необхідності економії не тільки грошей, а й часу, все частіше надає перевагу одноманітній рафінованій їжі, яка ненасичена необхідними вітамінами та мікронутрієнтами.

Висновки

Важливим є подальший сталий розвиток національних продовольчих систем, їх оптимізація та перехід на здорові моделі харчування. Формування політики держави в галузі харчування передбачає оцінку теперішнього стану харчування населення і визначення цілей та завдань, спрямованих на зміну або підтримання наявних тенденцій у характері харчування населення. Саме тому необхідно мати точну і надійну кількісну інформацію про характер споживання їжі та стан харчування населення. У процесі оцінки продовольчої безпеки України, здійсненої на основі запропонованої системи показників, враховані індикатори, які не представлені у вітчизняних методиках, насамперед показники структури споживання (співвідношення обсягів споживання білків, жирів і вуглеводів) та збалансованості харчування за мікронутрієнтами (обсяги споживання вітамінів, мікроелементів), що відповідає збалансованому харчуванню, яке здійснює вагомий вплив на здоров'я людини. Саме тому в наступних дослідженнях буде проведено аналіз існуючих моделей споживання задля формування здоров'язбережувальної поведінки та відповідального попиту ринку продовольства.

Література

- Батюк, Л. А. (2010). Продовольча безпека та досвід її забезпечення в деяких розвинутих країнах світу. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства : економічні науки*. 105, 72—79.
- Білорус, О. Г., Мацейко, Ю. М. (2005). Глобальна перспектива і сталий розвиток: (системні маркетинги дослідження). Київ: МАУП. <https://maup.com.ua/assets/files/lib/book/nw07.pdf>.
- Бойко, В. І. (2006). Про гарантування продовольчої безпеки України. *Економіка АПК*. 1, 60—67. http://www.agrosvit.info/pdf/5_2011/7.pdf.
- Всесвітня декларація і план дій в галузі харчування. (1992). URL: <http://www.fao.org/>.
- Гойчук, О. І. (2003). Продовольча безпека: структура, рівні та критерії забезпечення. *Загальні проблеми економіки*. 12, 12—18.
- Гришова, І. Ю., Крюкова, І. О. (2014). Сучасний стан та проблеми забезпечення продовольчої безпеки України. *Вісник Сумського національного аграрного університету Серія «Економіка і менеджмент»*. 8(61), 101—109. http://visnyk.snau.edu.ua/sample/files/snau_2014_8_61_ekonom/JRN/5.pdf.
- Державна служба статистики України/ Офіційний сайт URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
- Закон України «Про державну підтримку сільського господарства» від 24.06.2004 № 1877-IV (редакція від 15.08.2018). URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1877-15>.
- Калетнік, Г. М., Пчелянська, Г. О. (2011). Соціально-економічне становище населення та його вплив на формування продовольчої безпеки. *Економіка АПК*. 7, 36—41.
- Качинський, А. Б. (2006). Засади системного аналізу безпеки складних систем. Київ: ДП НВЦ «Євроатлантик-інформ».
- Лукінов, І. І., Саблук, П. Т. (2000). Про стратегію трансформування АПК та забезпечення продовольчої безпеки України. *Економіка України*. 9, 62—81. Національний діалог «Трансформація продовольчих систем: український контекст» — основні тези, (2021). <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3281846-nacionalnij-dialog-transformacia-prodovolcih-sistem-ukrainskij-kontekst-osnovni-tezi.html>.

- Мостенська, Т. Л., Кундєєва, Г. О. (2016). Харчування як складова продовольчої безпеки. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 22, 3, 113—122.
- Мудрак, Р. П. (2007). Споживчий аспект національної продовольчої безпеки. *Економіка України*, 9, 82—89.
- Мудрак, Р. П. (2014). Поведінка споживача як чинник продовольчої безпеки домогосподарства. *Економічний часопис—XXI*, 3—4(1), 27—30.
- Одінцов, М. М. (2010). Моделювання факторів формування продовольчої безпеки. *Ефективна економіка*. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z>.
- Пасхавер, Б. Й. (2007). Цінова конкурентність аграрного сектору. *Економіка України*, 1, 78—88.
- Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження наборів продуктів харчування, наборів непродовольчих товарів та наборів послуг для основних соціальних і демографічних груп населення» від 14 квітня 2000 р. № 656. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/656-2000-%D0%BF>.
- Про схвалення Стратегії продовольчої безпеки на період до 2030 року. (2021). <https://www.sk.dpss.gov.ua/v-ukrayini-zatverdyat-strategiyu-prodovolchoyi-bezpeky-do-2030-roku/>.
- Самооцінка населенням стану здоров'я та рівня доступності окремих видів медичної допомоги. (2019). http://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/17/Arch_snsz_zb.htm.
- Самооцінка домогосподарствами доступності окремих товарів та послуг. (2019). http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publdomogosp_u.htm.
- Скидан, О. В., Гринишин, В. Є. (2020). Забезпечення продовольчої безпеки: сучасне бачення та ієрархічні рівні. *Наукові горизонти*, 6(91), 68—77.
- Урба, С. І. (2017). Теоретико-методичні засади оцінки продовольчої безпеки. *Науковий вісник Херсонського державного університету*, 25, 106—111.
- ФАО, МФСР, ЮНІСЕФ, ВПП і ВОЗ. (2021). Положение дел в области продовольственной безопасности и питания в мире — 2021. Преобразование продовольственных систем в интересах обеспечения продовольственной безопасности, улучшения качества питания и экономической доступности здоровых рационов питания для всех. Рим, ФАО. <https://doi.org/10.4060/cb4474ru>.
- Харазішвілі, Ю. М., Дронь, Є. В. (2014). Прогнозування індикаторів, порогових значень та рівня економічної безпеки України у середньостроковій перспективі: [аналіт. доповідь]. Київ: НІСД.
- Чечель О. М. (2005). Регулювання формування та розвитку економіки агропромислового комплексу як основи продовольчої безпеки території. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія Економіка та менеджмент*, 6—7(18—19), 81—87.
- Allen, T., Prosperi, P. (2014). Metrics of sustainable diets and food systems. Montpellier: Workshop Report. Bioversity International & CIHEAM-IAMM.
- Van Berkum, S., Ruben, R. (2021). Exploring a food system index for understanding food system transformation processes. *Food Security*, 13:1179—1191. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01192-6>.
- Buzan, B., Wæver, O., Wilde, J. de. Security: a New Framework for Analysis. Boulder, London: LynnieRienner, 1998. 236 p.
- Bruntland, G. H. (1987). World Commission on Environment and Development. Our Common Future; Oxford University Press: New York, NY, USA.
- Candel, J. J. (2014). Food security governance: A systematic literature review. *Food Security*, 6(4), 585—601. <https://doi.org/10.1007/s12571-014-0364-2>.
- Cattaneo, A., Federighi, G., Vaz, S. (2020). The environmental impact of reducing food loss and waste: A critical assessment. *Food Policy*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101890>.
- CGIAR Research Program on Agriculture for Nutrition and Health (A4NH). (2021). A4NH 2020 annual report. Washington, DC: International Food Policy Research Institute (IFPRI). <https://doi.org/10.2499/p15738coll2.134515>.
- Conrad, Z., Stern, A., Love, D. C., Saleses, M., Cyril, A., McDowell, A., Blackstone, N. T. (2021). Data Integration for Diet Sustainability Analyses. *Sustainability*, 13, 8082. <https://doi.org/10.3390/su131480>.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division. <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/news/detailnews/ru/c/318294>.

Global food security index 2020. (2021). Addressing structural inequalities to build strong and sustainable food systems <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/>.

Global Panel (2015). Improved metrics and data are needed for effective food system policies in the Technical brief no. 2. Global Panel on Agriculture and Food Systems for Nutrition, London, UK.

Herforth, A., Bai, Y., Venkat, A., Mahrt, K., Ebel, A., Masters, W. A. (2020). Cost and affordability of healthy diets across and within countries. In Background Paper for the State of Food Security and Nutrition in the World. FAO: Rome, Italy.

HLPE. (2014). Food Losses and Waste in the Context of Sustainable Food Systems: A Report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. HLPE: Rome, Italy.

HLPE. (2017). Nutrition and Food Systems: A Report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on Food Security; HLPE: Rome, Italy.

Jackson, P. (2015). Handbook of International Security and Development. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.

Johnston, J. L., Fanzo, J. C., Cogill, B. (2014). Understanding sustainable diets: A descriptive analysis of the determinants and processes that influence diets and their impact on health, food security, and environmental sustainability. *Advances in Nutrition*. 5, 418—429. <https://doi.org/10.3945/an.113.005553>.

Marshall, Q.; Bellows, A. L.; McLaren, R.; Jones, A. D.; Fanzo, J. (2021). You Say You Want a Data Revolution? Taking on Food Systems Accountability. *Agriculture*, 11, 422. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050422>.

McDermott, J., Johnson, N., Kadiyala, S., Kennedy, G., Wyatt, A. J. (2015). Agricultural research for nutrition outcomes: Rethinking the agenda. *Food Security*, 7(3), 593—607. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0462-9>.

Morze, J., Danielewicz, A., Hoffmann, G., Schwingshackl, L. (2020). Diet quality as assessed by the Healthy Eating Index, alternate Healthy Eating Index, dietary approaches to stop hypertension score, and health outcomes: A second update of a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 120, 1998—2031. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2014.12.009>.

Mavrotas, G. Security and Development. Cheltenham: Edward Elgar, 2011.

Nguyen, H. (2018). Sustainable food systems Concept and framework. ФАО. Rome, Italy <https://www.fao.org/publications/card/ru/c/CA2079EN/>.

Reinhardt, S. L., Boehm, R., Blackstone, N. T., El-Abbadi, N. H., McNally Brandow, J. S., Taylor, S. F., DeLonge, M. S. (2020). Systematic review of dietary patterns and sustainability в CHIA. *Advances in Nutrition*. 11, 1016—1031. <https://doi.org/10.1093/advances/nmaa026>.

Perignon, M., Vieux, F., Soler, L.-G., Masset, G., Darmon, N. (2017). Improving diet sustainability through evolution of food choices: Review of epidemiological studies on the environmental impact of diets. *Nutrition Review*. 75, 2—17. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuw043>.

Rockström, J. and other. 2009. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*. 14(2): 32. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/> (12.11.2021).

Sen, A. (1986). Welfare Economics and the Real World. Acceptance paper for the Frank Seidman Distinguished Award in Political Economy. Memphis: F.K. Seidman Foundation.

Sirone, S., Seppala, J., Leskinen, P. (2015). Towards More Non-Compensatory Sustainable Society Index. *Environment, Development and Sustainability*. 17(3), 587—621. <https://doi.org/10.1007/s10668-014-9562-5>.

United Nations. Sustainable Development Goals. (2021). <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>.

United Nations. (2016). The United Nations Decade of Action on Nutrition; Food and Agriculture Organization: Rome, Italy, 2016. <https://www.un.org/nutrition/>.

United Nations. (2021). Sustainable Development Goals. <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>.

United Nations. (2016). The United Nations Decade of Action on Nutrition; Food and Agriculture Organization: Rome, Italy, 2016. <https://www.un.org/nutrition/>.

U.S. Department of Agriculture, (2021). Agricultural Research Service. FoodData Central: About Us. <https://fdc.nal.usda.gov/about-us.html>.

Vhurumuku, E. (2014). Food security indicators. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/food-security-capacity-building/docs/Nutrition/NairobiWorkshop/5.WFP_IndicatorsFSandNutIntegration.pdf.

World Hunger. (2021). Key Facts and Statistics Action against Hunger. <https://www.actionagainsthunger.org/world-hunger-facts-statistics>.

TYPICAL CHARACTERISTICS OF HR-PROJECTS AND THEIR PILOT VERSIONS

O. Sheremet, Y. Hryniuk

National University of Food Technologies

Key words:

*HR-project
Pilot HR-project
Pilot version
Characteristics
Standard
Risks*

Article history:

Received 03.03.2022
Received in revised form
17.03.2022
Accepted 21.04.2022

Corresponding author:

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

ABSTRACT

The article contains the results of research to identify typical characteristics of HR-projects at enterprises and their pilot versions. It interprets the concept of “project” according to the standards of the United States, Japan, Great Britain, which received worldwide recognition, and the national standard of quality management in projects, resulting from the implementation of the relevant standard of the International Organization for Standardization. The monitoring identified attributive characteristics of projects and reviewed them in the context of human resource management of enterprises, such as: temporality, uniqueness, limited, uncertain medium, coordination of work, indicating the specific features and obstacles faced by HR managers during their development. As a result, the author’s definition of the concept of “HR-project” was formulated and the analysis of trend areas of HR-design of companies in Ukraine in 2021 was conducted on the example of nominees for the national award “HR-brand”. It was found that the popularity rating is headed by projects related to digitalization and automation of HR-processes (operations), as well as social projects of responsible employers.

The essence of the concept of pilot projects is specified, the expediency of conducting a pilot stage in project management for the enterprise is substantiated, particularly in its relations with stakeholders. The basic list of characteristics inherent in pilot HR-projects is formed, namely: representative content and selection of test group of employees (candidates), scalability, predictability of results, adequate time limits, expertise of developers and curators of the “pilot project”. Emphasis is placed on additional competencies which HR managers who are involved in project work with staff should have. The material is summarized by the definition of “pilot HR-project” from the standpoint of the authors.

ТИПОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ HR-ПРОЄКТІВ ТА ЇХ ПІЛОТНИХ ВЕРСІЙ

О. О. Шеремет, Ю. М. Гринюк

Національний університет харчових технологій

У статті визначено типові характеристики HR-проектів підприємств та їх пілотних версій. Інтерпретовано поняття «проект» згідно зі стандартами США, Японії, Великої Британії, які отримали світове визнання, та національного стандарту управління якістю в проєктах, що став результатом імплементації відповідного стандарту Міжнародної організації зі стандартизації. В ході моніторингу виявлено атрибутивні характеристики проєктів та здійснено їх огляд у контексті управління людськими ресурсами підприємств, як-от: тимчасовість, унікальність, обмеженість, невизначеність середовища, координація робіт, із зазначенням специфічних особливостей і перепон, з якими стикаються HR-менеджери під час їх розробки. У підсумку сформульовано авторську дефініцію поняття «HR-проект» та проведено аналітику трендових напрямків HR-проектування компаній в Україні за 2021 р. на прикладі номінантів національної премії «HR-бренд». З'ясовано, що рейтинг популярності очолюють проєкти, пов'язані з діджиталізацією й автоматизацією HR-процесів (операцій), а також соціальні проєкти відповідальних роботодавців.

Уточнено сутність поняття пілотних проєктів, обґрунтовано доцільність проведення пілотної стадії в проєктному менеджменті для підприємства, зокрема в його взаємовідносинах із зацікавленими сторонами. Сформовано базовий перелік характеристик, притаманних пілотним HR-проектам, а саме: репрезентативний зміст і вибірка тестової групи співробітників (кандидатів), масштабованість, прогностичність результатів, адекватні часові межі, експертність розробників та кураторів «пілоту». Зроблено акцент на додаткових компетенціях, якими мають володіти HR-менеджери, задіяні в проєктній роботі з персоналом. Матеріал узагальнено визначенням поняття «пілотний HR-проект» з позиції авторів статті.

Ключові слова: HR-проект, пілотний HR-проект, пілотна версія, характеристики, стандарт, ризики.

Постановка проблеми. Глобалізація, цифровізація, гнучкі моделі ведення бізнесу та зайнятості, інші виклики, з якими стикаються сучасні компанії у VUCA-світі, вимагають від них перегляду традиційної парадигми управління та переходу до нової його моделі — більш мобільної, адаптивної та інноваційної. Проєктний менеджмент є саме тим інструментом, який допомагає сприяти цьому переходу в усіх сферах діяльності підприємства, зокрема, в HRM.

Галопуючі і непередбачувані зміни ринку, які можуть швидко вивести затребуваний продукт чи послугу в аутсайтери, призвели до переосмислення ролі людських ресурсів як стратегічної конкурентної переваги. Адже їх цінність важко втратити за будь-яких обставин, якщо компанія має віддану і талановиту команду з сильними лідерами. Наймати співробітників, адаптувати, розвивати, залучати,

підвищувати лояльність до роботодавця значно легше та ефективніше, якщо підходити до вирішення цих завдань у форматі HR-проектів. Їх успіх залежить від того, наскільки досконально вивчені всі потенційні вигоди та ризики проектних рішень (ідей), зроблені об'єктивні висновки щодо можливості їх реалізації в розумні терміни та в межах заданого бюджету. Розуміння цього в повній мірі дають результати впровадження пілотних версій HR-проектів, які завчасно виявляють проблеми і запобігають імовірним втратам (часу, грошей, репутації тощо) компаній. Новизна проблематики проектування та пілотування в HRM обумовлює актуальність обраної тематики досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проектний підхід в управлінні людськими ресурсами компаній почав використовуватись порівняно нещодавно, внаслідок чого відчувається брак наукових доробок, особливо серед вітчизняних вчених. Їх окремі дослідження стосуються, переважно, обґрунтування доцільності його застосування в HR-менеджменті як нетипової для проектування (Gogoshenko, Kondaurova, Zhilchenkova & Shtager, 2021), або різних аспектів проектного управління тимчасовим персоналом чи проектними командами (Обиденнова, Дуднева & Васильєва, 2020; Шинкарук, Кубіцький & Деліні, 2020). Натомість у зарубіжних джерелах (Zbrodoff, 2012; Farrer, L., 2019; RMIT Online, 2019; Ashkenas & Matta, 2021) значно активніше обговорюють питання необхідності проектування, зокрема пілотування процесів (функцій, операцій) HR-управління, а також нагальної потреби у навиках проектного менеджменту в HR-спеціалістів.

Метою статті є аналіз понятійно-категоріального апарату, який описує зміст і характерні атрибути HR-проектів та їх пілотних версій.

Матеріали і методи. Дослідження характеристик проектів проводилось на підставі текстової частини міжнародних стандартів з управління ними (PMBok, P2M, PRINCE2, ISO 21500) та національного стандарту ДСТУ ISO 10006:2018 в оригіналі (online версії). Для збору необхідних даних щодо напрямків HR-проекткування компаній в Україні опрацьовано інформацію про проекти номінантів щорічної премії «HR-бренд» за 2021 рік. Зміст і характеристика пілотних версій проектів у цілому та HR-проектів зокрема розкриті на матеріалах авторитетних зарубіжних видань (Harvard Business Review, Forbes, конференції Project Management Institute). Використано загальнонаукові методи досліджень, як-от: теоретичного узагальнення, аналізу та синтезу, групування, деталізації та порівняння.

Викладення основних результатів дослідження. Багаторічний досвід проектного менеджменту напрацював низку стандартизованих документів, оперуючи якими в таблиці представлено визначення поняття «проект».

Таблиця. Визначення поняття проекту у міжнародних і національному стандартах

№	Стандарт	Характеристика	Визначення
1	2	3	4
1	PMBok (A Guide to the Project Management Body of Knowledge)	Довідник з управління проектами Інституту управління проектами (PMI, USA). Стандарт, який оновлюється не рідше 1 разу на 5 років (остання 7 версія — серпень 2021 р.)	Тимчасова спроба створити унікальний продукт, послугу або результат

Продовження таблиці

1	2	3	4
2	P2M (A Guidebook of Project and Program Management for Enterprise Innovation)	Довідник асоціації управління проєктами Японії (PMAJ), що поширюється на високоякісні та інноваційні проєкти. Стандарт, який зібрав досвід і кейси проєктного менеджменту відомих японських корпорацій (остання третя версія — 2014 р.)	Створення цінності на основі конкретної місії, яка виконується в установлені строки та має обмеження, зокрема, в ресурсах і зовнішніх умовах реалізації. Його атрибути є унікальність, тимчасовість і невизначеність
3	PRINCE2 (Projects In Controlled Environments)	Британський національний стандарт проєктного менеджменту, що також популярний в низці країн Європи (остання 6 версія — січень 2017 р.)	Тимчасове утворення, призначення якого — випуск одного або декількох бізнес- продуктів у заданих умовах
4	ISO 21500 “Guidance on project management”	Стандарт міжнародної організації зі стандартизації (International Organization for Standardization), що містять рекомендації з управління проєктами (перша і поки остання версія — 2012 р.)	Унікальний набір процесів, які складаються зі стандартизованих і контрольованих робіт із датами початку і кінця, що виконуються для досягнення певних цілей в умовах багатьох обмежень
5	ДСТУ ISO 10006:2018 «Управління якістю. Наставови щодо управління якістю в проєктах»	Національний стандарт України, гармонізований з міжнародним стандартом ISO 10006:2017 “Quality management — Guidelines for quality management in projects”, який набув чинності з 01.01.2020 р.	Унікальний процес, який складається із сукупності скоординованих і контрольованих видів робіт з датами початку і закінчення, виконуваний для досягнення цілі, що відповідає конкретним вимогам, і містить обмеження щодо строку, вартості та ресурсів

Джерела: сформульовано і адаптовано з (Project Management Institute, 2021; Project Management Association of Japan, 2014; PRINCE2 Primer, 2021; British Standards Institute, 2012).

Із наведених у таблиці визначень можна простежити низку типових для проєктів характеристик, які відрізняють їх від поточної (операційної) діяльності в усіх сферах застосування, як-от: тимчасовість, унікальність, обмеженість, невизначеність, координація робіт. У контексті управління людськими ресурсами ці характеристики проєктів мають специфічні особливості, наведені нижче.

Тимчасовість — наявність чітко визначеної дати початку та кінця проєкту, тобто часових меж. Коли штатні рекрутери компанії винаймають кандидатів згідно з місячними планами закриття вакансій — це приклад виконання ними безпосередніх посадових обов’язків, який не пов’язаний із проєктною діяльністю. У разі організації спеціальних програм стажування, розрахованих на певний період (як правило, не довше календарного сезону), після закінчення якого стажисти-фіналісти працевлаштовуються за результатами конкурсного відбору, — це рекрутинговий проєкт, як і, приміром, масовий підбір персоналу працівниками

рекрутингового агентства на замовлення компанії-клієнта у завчасно обумовлені строки.

Унікальність — кожен проєкт є відмінним від інших, навіть якщо створюється ідентичний продукт, послуга або результат (Boscherini, Chiaroni, Chiesa & Frattini, 2010). Тобто незважаючи на одноразовість, яка виходить із попереднього пункту, проєкт може повторюватись, проте умови його реалізації — неповторні. Унікальність не варто ототожнювати з інноваційністю, а її рівень може різнитись, залежно від проєкту.

Одними з прикладів унікальних інноваційних HR-проєктів є проєкт навчання новачків та підвищення кваліфікації електромонтерів на VR-тренажерах холдингу ДТЕК або проєкт Snaplication компанії McDonald's з використанням соціальної мережі SnapChat для набору молодих кандидатів (зйомка 10-секундного відео-заявки на вакансію з накладанням фірмових фільтрів і спрямування трафіку на кар'єрну платформу компанії). У першому випадку інноваційність криється в технології, у другому — в способі найму. До унікальних, але не інноваційних HR-проєктів можна віднести проєкти студентських стажувань від роботодавців. Так, проєкт стажування Klitschko Foundation реалізувався вже 12 разів продовж 2015—2021 рр., проте залишається унікальним, оскільки кожен наступний відрізняється від попереднього: датами проведення, складом учасників і співробітників-наставників фонду, складом проєктної команди, бюджетом, форматом проведення (з 2020 р. через пандемію COVID-19 стажування відбувалось дистанційно), завданнями студентів-стажерів тощо.

Обмеженість — будь-який проєкт має обмеження щодо ресурсів (час, обсяг робіт та, відповідно, кількість їх виконавців, бюджет), необхідних для його реалізації. В класичному проєктному менеджменті це називається «трикутником обмеження проєкту» або його розширеною версією у вигляді шестикутної зірки згідно з (Project Management Institute, 2021).

Неоднозначним для всіх HR-проєктів є питання обмеженості й обґрунтування бюджету витрат, які потрібні завжди, але більшість проєктів у HRM не приносять прибутку напряду або приносять у віддаленій перспективі (в обох випадках завуальовано — у вигляді зростання продуктивності праці). Це ускладнює оцінку їх економічної доцільності та інвестиційної привабливості та обумовлює необхідність пошуку альтернативних показників HR-вигоди — втраченої або суми економії.

Невизначеність. Оскільки проєкт є унікальним, це призводить до невизначеності, адже не можна бути впевненим на 100% в успішності його впровадження. Чим більшою є невизначеність, тим вищі ризики проєкту, в тому числі матеріалізовані, і навпаки. Впоратись з умовами невизначеності, особливо для проєктів із відносно тривалими строками, можна за рахунок ефективного управління змінами, що завжди супроводжують проєктну діяльність. При цьому в HR-проєктах виникає необхідність зниження опору, до якого нерідко призводять зміни в HR-політиці (процесах) компанії, адже не всі співробітники будуть підтримувати проєктні рішення чи брати в них участь.

Крім того, як справедливо зауважують науковці Мельбурнського королівського технологічного університету, на відміну від деяких видів проєктів, приміром, логістичних, маркетингових, HR-проєкти мають значно ширшу групу стейкхолдерів: співробітники, замовники та клієнти, місцева спільнота, акціонери

(власники) та контрагенти, зокрема страховики, які співпрацюють з компанією, що реалізує HR-проект (RMIT Online, 2019). Конфлікт їх інтересів породжує додаткові ризики, якими необхідно управляти.

Координація робіт стосується стандартизації їх складу та послідовності в рамках проекту, узгодженості між собою в часі та розподілу відповідальності між виконавцями. Тут варто зазначити, що розподіл ролей у команді HR-проекту відбувається складно, адже, у переважній більшості випадків, він виконується не автономно, а у зв'язці HR-департаменту з іншими структурними підрозділами компанії. До того ж, на управління HR-проектами, які перебувають на стику HR, маркетингу та PR, можуть претендувати одразу декілька виконавців з різних професійних областей.

Узагальнюючи, сформулюємо авторську дефініцію поняття HR-проекту як послідовності дій, спрямованих на зміну (оптимізацію) HR-процесів компанії та досягнення унікальних результатів, що відбуваються з урахуванням ліміту часу та інших обмежень паралельно із щоденною роботою штатних HR-менеджерів або як завершений цикл робіт для зовнішніх HR-консультантів.

Потреба в проектуванні тих чи інших процесів управління людськими ресурсами визначається передусім наявними в компанії проблемами та пріоритетністю їх вирішення. Проте в умовах глобалізації ринків на неї також впливають HR-тренди, які, у свою чергу, залежать від економічної ситуації в країні та світі. На рисунку представлено статистику щодо напрямків реалізації повномасштабних і пілотних HR-проектів компаній в Україні, що претендували на звання кращих у минулому році (Премія «HR-бренд», 2021).

Більшість із них (17,5%) пов'язані з діджиталізацією та автоматизацією різноманітних HR-функцій (від мобільного рекрутингу й адаптації новачків до персоналізованих систем винагород). На другому місці в рейтингу (12,3%) — талант-менеджмент і лідерство, на третьому (10,5%) — HR-маркетинг і бренд роботодавця. Проте якщо об'єднати well-being, екологічні та інклюзивні проекти, корпоративне волонтерство і благодійність у спільну для них категорію соціальних HR-проектів, то рівень їх популярності буде таким, як і в лідера (17,5%).

Із наведеної нижче інформації уточнення потребує поняття пілотного проекту. Британська асоціація управління проектами трактує його як стартову дрібно-масштабну реалізацію, що використовується з метою підтвердження життєздатності ідеї проекту (Association for Project Management, 2016). Поряд з перевіркою ідеї на життєздатність, результатами пілотних проектів можуть бути (Zbrodoff, 2012): звіт із зазначенням ділового рішення «так» або «ні» (продовжувати проект чи ні); повністю придатний для використання продукт, послуга чи процес та/або шаблон для їх створення чи тиражування.

Мета пілотного проекту полягає в тому, щоб знизити ризик збою в усій організації, тестуючи нововведення в невеликому, контрольованому середовищі, аби мати змогу додатково удосконалити проектні рішення перед їх впровадженням (Ashkenas & Matta, 2021). Саме пілотні версії допомагають мінімізувати ризики проектів в умовах невизначеності та завчасно виявляти їх недоліки, застерігаючи компанії від значних фінансових втрат (матеріалізованих ризиків), які могли б бути понесені без пілотної стадії. До того ж пілотні проекти надають керівникам

і стейкхолдерам компаній цінний зворотній зв'язок щодо того, чи зможе проєкт реалізуватись при заданих обмеженнях та які потенційні вигоди він матиме на виході.



Рис. Напрямки повномасштабних і пілотних HR-проєктів компаній-номінантів премії «HR-бренд» в Україні за 2021 рік

Пілотним проєктам притаманні певні характеристики: область застосування, масштабованість, наочність, критичність, авторитетність, готовність проєктної групи. В інтерпретації авторів цієї статті їх базовий перелік для пілотних HR-проєктів матиме такий вигляд:

1. *Репрезентативна вибірка і зміст.* Пілотні HR-проєкти тестуються на репрезентантах — типових представниках колективу (бажаних кандидатах) з певним набором професійно-особистих якостей та в кількості, яка залежить від багатьох факторів, у тому числі розміру компанії та її HR-відділу, окремих завдань досліджень, що визначаються HR-потребами компанії. Ці потреби та/або наявні в неї HR-проблеми мають бути актуальними, а цілі та задачі HR-проєкту — значимими та зрозумілими для всіх співробітників (кандидатів), що забезпечує репрезентативність його змісту.

Крім того, до проекту на пілотній стадії варто залучити працівників з числа лідерів думок, аби забезпечити лояльність переважної частини колективу до ідей HR-проекту і в разі позитивних результатів пілотування полегшити та прискорити процес його впровадження.

2. *Масштабованість*. Результати «пілоту» повинні дати уявлення, чи зможе HR-проект «прижитись» і розвиватись в рамках усіх відділів компанії, її регіональних філій, закордонних представництв чи навіть компаній-партнерів.

3. *Прогностичність результатів*. Як позитивні (успіх), так і негативні (провал) результати пілотного HR-проекту мають бути очевидними і чітко вказувати на три варіанти розвитку подій: можливість його подальшої реалізації, необхідність доопрацювання чи повну відмову від проектного рішення (ідеї).

4. *Адекватні часові межі*. У занадто тривалому «пілоті» є ризик того, що керівництво компанії та/або учасники проектної (тестової) команди втратять інтерес до HR-проекту.

5. *Експертність розробників і кураторів «пілоту»*. З огляду на специфіку проектного менеджменту, порівняно з поточною роботою HR-менеджерів, стає очевидним: ті з них, що задіяні в розробці HR-проектів та їх пілотних версій, поряд з досвідом і глибокою експертизою у процесах за профілем посади повинні володіти хоча б базовими компетенціями в бюджетуванні, ризик-менеджменті, гнучкому управлінні по типу Agile, Scrum чи подібних до них. Інакше їх проектні ідеї (рішення) не будуть сприйматись серйозно керівниками компаній, а також існуватиме висока ймовірність недооцінити (переоцінити) очікувані вигоди та ресурси за проектом (строки і графіки, кваліфікацією виконавців, обсяг фінансування тощо). За оцінками деяких іноземних фахівців, наданих у (Farrer, 2019), HR-менеджмент активно трансформується, що особливо відчутно у технологічних компаніях (в їх віддалених командах), і переходить з функціоналу «управління, правил і політики» в проектування роботи з людьми (People Operations). Тому роботодавці все частіше висувають до HR (PeopleOps) спеціалістів як обов'язкову професійну вимогу навиків з управління проектами.

Підсумовуючи, представимо поняття пілотного HR-проекту як мініверсії проекту управління людськими ресурсами, призначеного для перевірки на життєздатність нового проектного рішення, його апробування в реальних умовах на репрезентативній вибірці працівників (кандидатів) з метою оцінки перспектив і ризиків для компанії-роботодавця.

Висновки

Зважаючи на поширення проектного підходу в HR-управлінні все більшої кількості компаній і новий спектр завдань, що висувають до HR-менеджерів, методи їх роботи потребують якісних змін, як, відповідно, і програма фахової підготовки спеціалістів з управління людськими ресурсами у закладах вищої освіти, що має містити проектний менеджмент у профільній сфері діяльності як невід'ємну компоненту. Це підвищить їх цінність (вартість) на ринку праці як професіоналів, здатних проектувати в пілотному і повномасштабному форматах HR-процеси, спрямовані на забезпечення високих показників ефективності бізнесу та віддачі на інвестиції в людський розвиток.

Література

Обиденнова, Т. С., Дуднева, Ю. Е., Васильєва, М. О. (2020). Управління командою проєкту в сучасних умовах. *Економічний вісник*, 2, 168—174. doi: 10.33271/ev/70.168.

Премія «HR-бренд» (2021): вебсайт. Взято з <https://hr-brand.com/premiya2021>.

Шинкарук, Л. В., Кубіцький, С. О., Дєліні, М. М. (2020). Особливості управління персоналом в проєктній діяльності в сучасних умовах. *Менеджер*, 3(88), 5—15. doi: 10.35340/2308-104X.2020.88-3-02.

Ashkenas, R., Matta, N. (2021). How to Scale a Successful Pilot Project. *Harvard Business Review*. Взято з <https://hbr.org/2021/01/how-to-scale-a-successful-pilot-project>.

Association for Project Management (2016). What is the difference between a trial and a pilot? Взято з <https://www.apm.org.uk>.

Boscherini, L., Chiaroni, D., Chiesa, V. & Frattini, F. (2010). How to use pilot project to implement open innovation. *International Journal of Innovation Management*, 14(6), 1065—1097. doi: 10.1142/S136391961000301X.

British Standards Institute (2012). ISO 21500: Guidance on project management — A Pocket Guide (Best Practice). Van Haren Publishing. Взято з <https://fdocuments.in/document/iso-21500-project-management.html>.

Farrer, L. (2019). Human Resource 2.0: How People Operations Is Powering Higher Productivity. *Forbes*, 28 March. Взято з <https://www.forbes.com/sites/laurelfarrer/2019/03/28/human-resources-2-0-how-people-operations-is-powering-higher-productivity>.

Goroshenko, V., Kondaurova I., Zhilchenkova, V., Shtager, O. (2021). HR Project Management. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*. Atlantis Press, volume 646, 124—129.

PRINCE2 Primer (2021). PRINCE2 Overview. Взято з <https://www.prince2primer.com/prince2-overview>.

Project Management Association of Japan (2014). P2M (Third Edition) by Cyber Creative Institute Co. Ltd. Cyber Publishing Center. Взято з [https://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/P2M_Bibelot\(All\)_R3.pdf](https://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/P2M_Bibelot(All)_R3.pdf).

Project Management Institute (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). Seventh Edition and The Standard for Project Management (English). Взято з <https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/foundational/PMBOK>.

RMIT Online (2019). Why project management skills are important for HR professionals? Взято з <https://studyonline.rmit.edu.au/blog/project-management-skills-hr-professionals>.

Zbrodoff, S. (2012). *Pilot projects-making innovations and new concepts fly*. Paper presented at PMI® Global Congress 2012 — North America, Vancouver, British Columbia, Canada. Newtown Square, PA: Project Management Institute.

ELECTRICAL SUPPLY SYSTEMS FOR INDUSTRIAL AND CIVIL FACILITIES USING RENEWABLE ENERGY SOURCES AND ACCUMULATORS

S. Baluta, L. Kopilova, Iu. Kuievda, Y. Chornyi, V. Kuevda, P. Zinkevych
National University of Food Technologies

Key words:

*Power supply systems
Renewable energy
sources
Photovoltaic power plants
Wind power plants
Electric energy storage
devices
Optimization of operating
modes*

Article history:

Received 07.03.2022
Received in revised form
21.03.2022
Accepted 14.04.2022

Corresponding author:

S. Baluta
E-mail:
epp11@ukr.net

ABSTRACT

The article presents approaches to solving the problem of optimizing the composition of hybrid electrical complexes (GETC) energy sources by minimizing financial costs for energy equipment. Issues of technical and economic efficiency of GETC are solved by choosing the optimal composition of the main equipment: the installed capacity of the photovoltaic power plant; installed capacity of wind power plant; the number and installed capacity of diesel generators; quantity and capacity of electricity storage. The multicriteria optimization function and the gradient optimization method were used for optimization. Mathematical models of energy sources which are part of the power supply system are presented: diesel generators, photovoltaic power plants, wind power plants, electric energy storage devices. In addition, the problem of minimizing the cost of electricity for the user of the micro grid is solved. This task is implemented by developing an algorithm for optimizing the modes of power sources and determining the value of energy received from each of the energy sources and the storage of electricity, taking into account the tariffs for electricity from the power system. Optimization of power supply system modes is carried out using the optimal daily load schedule. When solving optimization problems, restrictions on the number of diesel generator starts per day and the number of charges/discharges of batteries during the year are taken into account. Solving the problems of optimizing the daily load schedule and modes of operation of the power supply system is carried out on the basis of predicted on the basis of static data and meteorological daily schedules of electricity generation by photovoltaic power plants, wind power plants. The results of simulation modeling of the power supply system of a civilian facility with renewable energy sources and electricity storage in the Matlab/Simulink medium are presented.

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ І ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА НАКОПИЧУВАЧІВ

С. М. Балюта, Л. О. Копилова, Ю. В. Куєвда,
Ю. А. Чорний, В. П. Куєвда, П. О. Зінкевич

Національний університет харчових технологій

У статті представлено підходи до вирішення завдання оптимізації складу джерел енергії ГЕТК шляхом мінімізації фінансових видатків на енергетичне обладнання. Питання техніко-економічної ефективності ГЕТК вирішуються шляхом вибору оптимального складу основного обладнання: встановленої потужності фотоелектричної станції (ФЕС); встановленої потужності вітроелектричної станції (ВЕС); кількості та встановленої потужності дизельних генераторних установок (ДГУ); кількості та потужності накопичувачів електроенергії (СНЕ).

Для оптимізації використовується багатокритеріальна функція оптимізації та градієнтний метод оптимізації. Представлені математичні моделі джерел енергії, які входять до складу системи електрозабезпечення: дизель-генераторів, фотоелектростанцій, вітроелектростанцій, накопичувачів електричної енергії.

Крім того, вирішується задача мінімізації витрат користувача мікромережі на електричну енергію (ЕЕ), що реалізується шляхом розробки алгоритму оптимізації режимів джерел живлення і визначення значення енергії, яка отримується від кожного з джерел енергії (ДЕ) та накопичувача електричної енергії (НЕЕ) з урахуванням тарифів на ЕЕ від енергосистеми.

Оптимізація режимів системи електрозабезпечення проводиться з використанням оптимального добового графіка навантажень. При вирішенні задач оптимізації враховуються обмеження на кількість запусків дизель-генератора протягом доби та кількості зарядів/розрядів акумуляторних батарей протягом року. Вирішення задач оптимізації добового графіка навантаження та режимів роботи системи електрозабезпечення проводиться на основі прогнозованих на основі статичних даних і метеоданих добових графіків генерації електричної енергії фотоелектростанціями, вітроелектростанціями.

Наведено результати імітаційного моделювання системи електрозабезпечення цивільного об'єкта з відновлювальними джерелами енергії та накопичувачами електричної енергії в середовищі Matlab/ Simulink.

Ключові слова: системи електрозабезпечення, відновлювальні джерела електричної енергії, фотоелектростанції, вітроелектростанції, накопичувачі електричної енергії, оптимізація режимів роботи.

Постановка проблеми. Розвиток сучасних технологій електрозабезпечення промислових і цивільних об'єктів відбувається завдяки розробці вискоефективних джерел теплової й електричної енергії (газотурбінні установки, когенерація

тощо), практичній реалізації і поширенню відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), накопичувачів енергії та створення на їх основі гібридних електротехнічних комплексів — ГЕТК (мікрогрід). Обґрунтування складу джерел генерації та накопичувачів електроенергії в таких комплексах необхідно здійснювати з урахуванням алгоритмів управління всіма компонентами ГЕТК, що включає не тільки генеруючі установки та накопичувачі електроенергії, але й активних споживачів, здатних змінювати індивідуальний графік споживаної потужності залежно від ситуації в системі електрозабезпечення. Водночас більша частина існуючих підходів до оптимізації складу обладнання та режимів роботи комплексу не враховує можливості керування джерелами електричної енергії, електричним навантаженням активних споживачів та особливостей використання накопичувачів електричної енергії. Тому актуальним завданням є удосконалення методів оптимізації складу ГЕТК з накопичувачами енергії та режимів їх роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням розробки й оптимізації складу обладнання та режимів ГЕТК з використанням ВДЕ і накопичувачів ЕЕ присвячені праці як зарубіжних, так і вітчизняних авторів. Так, у працях (Лежнюк, Комар & Собчук, 2014), (Lukutin & Muravyev, 2019) наведені методи вибору складу та обґрунтування режимів роботи вітро- та сонячнодизельних комплексів, мікроГЕС та інших систем на базі ВДЕ, проаналізовано структурні схеми гібридних ЕТК, запропоновано різні підходи до моделювання компонентів системи. У праці (Бойко, Шендрик, Парфененко & Шендрик, 2019) розглядаються питання електрозабезпечення підприємств за допомогою гібридних ЕТК з ВДЕ, а також питання прогнозування електроспоживання. Відзначена необхідність забезпечення надійності електропостачання та якості електроенергії, запропонована концепція використання ВДЕ з метою запобігання аварійним ситуаціям. У (Karamov & Suslov, 2021) викладено комплексний підхід до обґрунтування складу джерел енергії в ізолюваних енергосистемах з урахуванням управління навантаженням активних споживачів. Представлені методики регулювання графіків навантажень споживачів і методи оцінки та забезпечення надійності активних ізолюваних енергосистем. У праці (Лежнюк, Кулик & Ковальчук, 2011) розглянуто широкий спектр питань, пов'язаних з обґрунтуванням складу та режимів роботи автономних ЕТК з різними видами ВДЕ. У (Shendryk, Boiko, Parfenenko, Shendryk & Tymchuk, 2019) розглядаються питання вибору оптимальної структури, складу та режимів роботи гібридних ЕТК з ВДЕ та споживачами-регуляторами, а також питання управління електроспоживанням та прогнозування вироблення електроенергії фотоелектричними станціями. Дослідження (Bernal-Agustín, Yusta-Loyo & Dufo-López, 2011; García-Vera, Dufo-López & Bernal-Agustín, 2020; Lujano-Rojas, 2019) присвячені питанням оптимізації складу та режимів роботи гібридних ЕТК з альтернативними джерелами енергії. Запропоновано різні моделі управління електричним навантаженням та інші алгоритми інтелектуалізації систем електропостачання. Способи керування навантаженням побутових споживачів за умов розподіленої генерації розглянуто в (Arevalo, Benavides, Lata-García & Jurado, 2020; García-Triviño, Torreglosa, Jurado & Fernández Ramírez, 2019).

Аналіз літературних джерел показав, що при оптимізації складу джерел і накопичувачів електроенергії в ЕТК лише в деяких дослідженнях пропонується

вирішувати завдання комплексно з урахуванням можливості керування навантаженням споживачів. Однак не до кінця розкрито питання, пов'язані зі ступенем впливу управління електричним навантаженням на оптимальний склад ЕТК. Не вирішено багато питань оптимального управління джерелами та накопичувачами електроенергії в гібридних ЕТК.

Мета дослідження: оптимізація складу джерел і накопичувачів електроенергії ГЕТК з накопичувачем електроенергії та оптимізація режимів його роботи ЕТК за критерієм мінімізації витрат користувача на електричну енергію.

Матеріали і методи. Питання оптимізації складу джерел і накопичувачів електроенергії та питання оптимізації режимів роботи ЕТК тісно пов'язані одне з одним і мають вирішуватися комплексно.

Завдання оптимізації складу джерел енергії ГЕТК передбачає вирішення задачі мінімізації фінансових видатків на енергетичне обладнання, а задача оптимізації режимів ГЕТК зводиться до формування оптимального добового графіка навантажень і оптимізації режимів ГЕТК за критерієм витрат користувача ЕТК на електричну енергію шляхом керування джерелами енергії та накопичувачем електричної енергії.

Розглянемо ГЕТК, який включає власні джерела електричної енергії (ВДЕ та ДГУ), накопичувач ЕЕ і підключений до одного зовнішнього джерела електричної енергії — енергосистеми живлення з диференційованою тарифікацією. Можна виділити базові режими роботи такого ЕТК:

- власні джерела використовуються для живлення навантажень;
- власні джерела використовуються для заряду накопичувача;
- енергосистема з диференційованою тарифікацією використовується для живлення навантажень;
- енергосистема з диференційованою тарифікацією використовується для заряду накопичувача;
- накопичувач використовується для живлення навантажень.

Мінімізація витрат користувача мікромережі на електричну енергію (ЕЕ) реалізується шляхом розробки алгоритму оптимізації вказаних режимів і визначення значення енергії, що отримується від кожного з джерел енергії (ДЕ) та накопичувача електричної енергії (НЕЕ) з урахуванням тарифів на ЕЕ від енергосистеми.

Питання техніко-економічної ефективності ГЕТК вирішують шляхом вибору оптимального складу основного обладнання:

- встановленої потужності фотоелектричної станції (ФЕС);
- встановленої потужності вітроелектричної станції (ВЕС);
- кількості та встановленої потужності дизельних генераторних установок (ДГУ);
- кількості та потужності накопичувачів електроенергії (СНЕ).

Задачу оптимізації складу ЕТК математично можна описати виразом (1) з обмеженнями (2):

$$F(\vec{X}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $F(\vec{X})$ — цільова функція, $\vec{X}$ — вектор рішення.

$$G(\vec{X}) \leq A, \quad (2)$$

де $G(\vec{X})$ — обмеження, задане у вигляді нерівності.

Враховуючи, що задача оптимізації є багатокритеріальною, обираємо один узагальнений критерій, що складається з головного критерію і додаткових критеріїв, які вводяться за допомогою вагових коефіцієнтів або задаються у вигляді обмежень (Нефьодов & Балицька, 2011). Основні критерії оптимізації складу джерел генерації та накопичувачів електроенергії в ЕТК представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Деякі критерії оптимізації складу ЕТК

Група критеріїв	Найменування критерію і його позначення	
Економічні	Капітальні витрати	CAPEX
	Чиста приведена вартість	NPC
	Термін окупності	PB
	Вартість життєвого циклу	LCC
	Нормована собівартість електроенергії	LCOE
Технічні	Імовірна втрата живлення	LPSP
	Величина непокритої потужності	—
	Показники якості електроенергії	—
Екологічні	Викиди забруднюючих речовин	—
Соціальні	Кількість створених робочих місць	—

Для проведення оптимізації використаємо метод Гауса-Зейделя, відомий також як метод координатного спуску (Нефьодов & Балицька, 2011).

Оптимізація проводиться на основі фактично вимірних (з годинною або меншою дискретизацією) часових рядів активної потужності, які містять інформацію про швидкість зміни електричного навантаження, пікові викиди тощо (Лук'яненко & Жук, 2013). Часові ряди статистично обробляються (здійснюється декомпозиція на складові) і створюється статистична модель, за допомогою якої синтезується прогнозний графік електричного навантаження на весь життєвий цикл ЕТК. Це також дає змогу врахувати тренд електроспоживання.

При визначенні складу джерел і накопичувачів електроенергії ЕТК з ФЕС або ВЕС використовується погодинні значення сонячної інсоляції, багаторічні значення середньомісячних швидкостей вітру та додаткові параметри, наприклад, функція розподілу швидкості вітру за градаціями (Кузнецов & Лисенко, 2018).

Для оптимізації обладнання ЕТК використовуємо рівняння енергетичного балансу:

$$P_{\text{ФЕС}} + P_{\text{ВЕС}} + P_{\text{СНЕ}} - P_{\text{Н}} = 0, \quad (3)$$

де $P_{\text{ФЕС}}$; $P_{\text{ВЕС}}$; $P_{\text{СНЕ}}$; $P_{\text{Н}}$ вироблена потужність ФЕС, ВЕС, потужність системи накопичування енергії (СНЕ) та електричного навантаження відповідно.

Розглянемо питання визначення оптимального числа дизель генераторних установок (ДГУ) та встановлених потужностей цих агрегатів. Кількість палива, що споживається ДГУ, розраховується за емпіричними формулами (Ogunjuigbe, 2016):

$$F_{\text{ДГУ}}(t) = a_1 P_{\text{НДГУ}} + a_2 P_{\text{ДГУ}}(t), \quad (4)$$

де $F_{\text{ДГУ}}(t)$ — споживання палива ДГУ за інтервал часу t , л/год; $P_{\text{нДГУ}}$ — номінальна потужність ДГУ, кВт; $P_{\text{ДГУ}}$ — поточна потужність навантаження ДГУ кВт; a_1 і a_2 — емпіричні коефіцієнти, л/кВт·год.

При визначенні оптимального числа ВЕУ використовують декілька типів ВЕУ. Розрахунок проводиться для кожного з них. Потужність, що виробляється ВЕС, обчислюється за формулою (5) (Suhane, 2016):

$$P_{\text{ВЕС}} = \begin{cases} 0 & V < V_{\text{вкл}} \\ m_{\text{ВЕУ}} \cdot \eta_{\text{ВЕУ}} \cdot P_{\text{ВЕУ}} \left(\frac{V^3 - V_{\text{вкл}}^3}{V_{\text{ном}}^3 - V_{\text{вкл}}^3} \right) & V_{\text{вкл}} < V < V_{\text{ном}} \\ m_{\text{ВЕУ}} \cdot \eta_{\text{ВЕУ}} \cdot P_{\text{ВЕУ}} & V_{\text{ном}} < V < V_{\text{відкл}} \\ 0 & V < V_{\text{відкл}} \end{cases}, \quad (5)$$

де $m_{\text{ВЕУ}}$ — кількість ВЕУ; V — фактична швидкість вітру на висоті щогли, м/с; $V_{\text{вкл}}$ — початкова швидкість вітру (включення ВЕУ), м/с; $V_{\text{відкл}}$ — гранична швидкість вітру (відключення ВЕУ), м/с; $V_{\text{ном}}$ — номінальна швидкість вітру, м/с; $P_{\text{нВЕУ}}$ — номінальна потужність ВЕУ, кВт; $\eta_{\text{ВЕУ}}$ — електричний ККД ВЕУ, прийнятий рівним 0,9.

Для ГТЕК проводиться пошук оптимального числа фотоелектричних перетворювачів (ФЕП). Тип і модель ФЕП, як правило, визначається на основі оцінки техніко-економічних параметрів, представлених у каталогах виробників.

Потужність виробітку ФЕС визначається за формулою (6) (Ogunjuigbe, 2016):

$$P_{PV} = m_{PV} \cdot A_{PV} \cdot G_t \cdot \eta_{PV} (1 - P_H), \quad (6)$$

де m_{PV} — кількість ФЕП; A_{PV} — площа ФЕП, м²; G_t — сумарна сонячна радіація, Вт/м²; η_{PV} — ККД ФЕП, %, P_H — коефіцієнт зниження вироблення ФЕП у результаті нагрівання, %.

Необхідно враховувати зниження вироблення ФЕС у результаті нагрівання ФЕП. Температура ФЕП визначається за формулою (7) (Bernal-Agustín & Yusta-Loyo, 2011):

$$T_{PV} = T_{\text{довк}} + 0,0256 \cdot G_t, \quad (7)$$

де $T_{\text{довк}}$ — температура довкілля.

Зниження виробітку ФЕП у результаті нагрівання характеризується коефіцієнтом, що визначається за формулою (8):

$$P_H = K_T (T_{PV} - 25) \cdot f_1, \quad (8)$$

де K_T — температурний коефіцієнт зниження максимальної потужності ФЕП, %/С; f_1 — бінарна змінна, $f_1 = 0$ при $T_{PV} \leq 25$ та $f_1 = 1$ при $T_{PV} > 25$.

Для ГТЕК проводиться пошук оптимальної кількості акумуляторних батарей (АБ) обраного типу. Основними технічними параметрами АБ є ємність, напруга, допустима глибина розряду, номінальні та максимальні струми заряду та розряду, термін служби чи допустиме число циклів заряду-розряду.

Для визначення складу ГТЕК використовують такі параметри АБ: максимальна кількість енергії батареї (енергоємність) $Q_{\text{іmax}}$ (кВт · год); мінімальна кіль-

кість енергії батареї $Q_{\min}$ (кВт · год), що визначається за максимально допустимою глибиною розряду; номінальна потужність розряду за годину (енерговіддача) $Q_{p,ном}$ (кВт · год); номінальна потужність заряду за годину $Q_{з,ном}$ (кВт · год).

Величина розряду Q_p або заряду Q_z АБ за інтервал часу визначається залежно від запасу енергії АБ $Q_{поч}$ та різниці потужності навантаження та потужності вироблення ВДЕ ($P_H - P_{ФЕС} - P_{ВЕС}$) (табл. 2).

Таблиця 2. Формули для визначення величини розряду та заряду в годинному інтервалі

	Формула	Опис
Розряд Q_p	0	Глибина розряду максимальна або розряд не потрібен
	$Q_{поч} - Q_{кін}$	Розряд до мінімуму за ємністю
	$PL - PPV - PW$	Розряд не до мінімуму за ємністю
	$Q_{p,доп}$	Розряд з максимуму до мінімуму за ємністю
Заряд Q_z	0	АБ заряджена на 100% або заряд неможливий
	$Q_{max} - Q_{поч}$	Заряд до 100% ємності
	$PPV + PW - PL$	Заряд не до 100% ємності
	$Q_{з,доп}$	Заряд від мінімуму до максимуму за ємністю

Кількість накопиченої енергії в кінці розглянутого часового інтервалу визначається за формулою (9):

$$Q_{кін} = Q_{поч} - Q_p + Q_z. \quad (9)$$

Запас енергії АБ на початку першого інтервалу приймається рівним C_{max} . Запас енергії на початку наступних інтервалів дорівнює запасу енергії наприкінці попередніх інтервалів відповідно до виразу (10):

$$Q_{поч}(t+1) = Q_{кін}(t). \quad (10)$$

Вибір режимів роботи джерел електроенергії. Обґрунтування раціонального складу джерел і накопичувачів у ГЕТК передбачає обов'язковий вибір алгоритмів управління джерелами енергії та накопичувачами.

Алгоритми функціонування ВЕС та ФЕС для автономних ЕТК, що включають ДЕУ, як правило, схожі. З метою зниження витрат на електропостачання доцільно використати максимум можливої енергії, що виробляється ВДЕ.

Для управління ДГУ приймемо алгоритм, який передбачає використання ДГУ різної номінальної потужності. Перемикання ДГУ відбувається при досягненні потужністю навантаження величини, при якій питомі витрати пального до перемикання та після нього рівні.

Найбільш поширений алгоритм функціонування АБ, при якому за недостатньої потужності ВДЕ проводиться розряд АБ, а при перевищенні потужністю ВДЕ потужності електричного навантаження — заряд. У цьому режимі при помірній кількості циклів заряду-розряду АБ забезпечується економія ДП. Приймемо цей алгоритм функціонування АБ як основний. Слід зазначити, що стратегії управління можуть передбачати заряд АБ не лише за допомогою ВДЕ, але й за допомогою інших джерел, наприклад, ДЕС.

Капітальні витрати на спорудження ГЕТК визначаються за такою формулою (11):

$$C_{APEX} = C_{apDEC} + C_{apBEC} + C_{apFEC} + C_{apCHE} + C_{apinv}, \quad (11)$$

де C_{ap} — капітальні витрати на постачання, монтаж та пусконаладження, відповідно, DEC, BEC, FEC, CHE та інверторів для BEC, FEC та CHE, млн грн. Капітальні витрати на постачання, монтаж та пусконаладження ДГУ складаються з вартості ДГУ, а також вартості її доставки, монтажу та пусконаладжувальних робіт.

Експлуатаційні витрати системи визначаються за формулою (12):

$$OPEX = W_{DEC} + W_{BEC} + W_{FEC} + W_{CHE} + W_{inv}, \quad (12)$$

де W — експлуатаційні витрати на, відповідно, DEC, BEC, FEC, заміну CHE та інвертори, млн грн/рік.

Оптимізація режимів роботи ГЕТК передбачає мінімізацію оплати за спожиту електричну енергію, отриману від різних джерел енергії, що входять до складу ГЕТК на період не більше 24 годин. Оптимізація проводиться на основі таких вихідних даних: кількості запусків ДГУ протягом доби; річних статистичних даних про споживання ЕЕ та генерацію ЕЕ джерелами ВДЕ та ДГУ; диференційованого тарифу на електричну енергію від енергосистеми; оптимізованого добового графіка споживання електроенергії; спрогнозованих добових графіків генерації ЕЕ за допомогою FEC та BEC; витрати на оплату ЕЕ, спожитої від енергосистеми; витрати на генерацію ЕЕ на власних джерелах (бензо- або дизель-генератори, BEC та FEC, системи накопичення ЕЕ); доходи отримані від передачі ЕЕ від ГЕТК в енергосистему.

При вирішенні задачі оптимізації на період до 24 год необхідно врахувати обмеження, які реалізуються протягом року: кількість зарядів-розрядів акумуляторних батарей протягом року, що обумовлюють довговічність роботи акумуляторної батареї накопичувача ЕЕ (Rantik, 1999), максимальні добові навантаження активних споживачів ГТЕК протягом року, які впливають на вартість спожитої ЕЕ і кількість зарядів/розрядів АБ протягом року (Rantik, 1999).

Отже, оптимізацію режиму роботи ГТЕК необхідно проводити в такій послідовності: спочатку сформувати максимальні добові навантаження шляхом оптимізації добового графіка навантаження активного споживача, а потім вирішувати задачу оптимізації видатків на оплату ЕЕ з використанням сформованих добових графіків навантаження.

При формуванні оптимального добового графіка навантаження використовуються критерії оптимізації. При двоставковому тарифі з платою за потужність (пікове значення при максимумі навантаження в енергосистемі) і за спожиту електроенергію використовують критерій (13):

$$\min \left(C_p P_{\max} + \sum_{k=1}^K C_{ek} P_k t_k \right), \quad (13)$$

де C_p — питома вартість одного кіловата в години добового максимуму навантаження енергосистеми; C_{ek} — питома вартість однієї кіловат-години електроенергії на інтервалі часу k ; $P_{\max}$ — максимум навантаження споживача (в години часу, визначені енергосистемою); P_k — потужність навантаження на інтервалі часу t_k .

При диференційованому тарифі на електроенергію критерій (14) набуде такого вигляду:

$$\min \sum_{t=1}^T C_e^t \sum_{k \in K^t} P_{k^t k}, \quad (14)$$

де T — кількість зон, на які розбивається доба на графіку споживання ЕЕ; C_e^t — питома вартість однієї кіловат-години електроенергії в зоні доби t ; K^t — множини, що визначають інтервали часу всередині відповідних зон.

При виконанні оптимізації добового графіка навантаження активного споживача необхідно враховувати старіння АБ шляхом визначення кількості циклів заряду-розряду за допомогою критерію (Rantik, 1999):

$$L(Q) = u' = e^{\gamma^* \left[1 - \frac{Q}{Q_{\max}} \right]},$$

де q — заряд АБ; γ^* — конструктивна стала, що залежить від параметрів АБ;

Враховуючи, що допускається максимальний розряд АБ не більше 30%, використовують такі дискретні значення критерію $L(Q/Q_{\max} 100\%)$:

$$\begin{aligned} L100\% \text{ для } & \left[0,8 \leq \frac{Q}{Q_{\max}} \leq 1 \right]; \\ L80\% \text{ для } & \left[0,6 \leq \frac{Q}{Q_{\max}} \leq 0,8 \right]; \\ L60\% \text{ для } & \left[0,4 \leq \frac{Q}{Q_{\max}} \leq 0,6 \right]. \end{aligned}$$

Величина заряду АБ визначається на основі статистичних даних роботи ГЕТК.

Задача оптимізації добового графіка навантаження може вирішуватися таким чином:

$$\min \sum_i C(p_i), \text{ subject to } \sum_i L_i(p_i) \leq L_{\max}, \quad (15)$$

де $C(p_i)$ — функція оплати за ЕЕ, що оптимізується за рахунок зменшення максимальної потужності навантаження або зміщення навантаження у більш економічно вигідні тарифні зони; $L(p)$ — функція, що враховує стан АБ шляхом підрахунку циклів заряду-розряду; $L_{\max}$ — максимально допустима кількість зарядів-розрядів АБ, що забезпечує нормативний термін роботи АБ. Для вирішення задачі оптимізації доцільно використати алгоритм імітації відпау (Bertsimas & Tsitsiklis, 1993) з використанням функції циклів заряду/розряду АБ.

З використанням вказаного алгоритму проведено оптимізацію максимуму споживаної потужності житлового кварталу міста. Результати оптимізації представлені в табл. 3.

Таблиця 3. Оптимальні значення максимуму активної потужності житлового кварталу міста протягом року

Номер місяця	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$P_{\max}$ вимірювання	108	124	121	106	82	83	80	73	102	120	113	109
$P_{\max}$ після оптимізації	46	46	44	46	35	32	31	30	38	47	49	50

На оптимізованих добових графіках навантаження з використанням критерію (16) визначають значення потужності, що отримуються від різних джерел енергії ГТЕК, і мінімізують оплату за спожиту електричну енергію:

$$\min \sum_{t=1}^{96} \left[c_{EEt} \cdot b_t + c_{BEC} \cdot e_{BEC,t} + c_{ФЕС} \cdot e_{ФЕС,t} + c_{ДГУ} \cdot e_{ДГУ,t} - c_{npt} \cdot r_{np,t} \right], \quad (16)$$

де c_{EEt} , b_t , c_{BEC} , e_{BEC} , $c_{ФЕС}$, $e_{ФЕС}$, $c_{ДГУ}$, $e_{ДГУ}$ — собівартість (тариф) та обсяги ЕЕ, отриманої, відповідно, від енергосистеми, ВЕС, ФЕС, ДГУ, c_{npt} , $r_{np,t}$ — собівартість і обсяги ЕЕ, що продається в енергосистему.

Для вирішення задачі оптимізації доцільно використати генетичний алгоритм.

Висновки

1. При створенні систем електрозабезпечення промислових і цивільних об'єктів з використанням ВДЕ, ДГУ та накопичувачів ЕЕ вибір обладнання необхідно проводити шляхом вирішення багатокритеріальної задачі оптимізації з використанням градієнтного методу на основі економічних і технічних критеріїв.

2. Для оптимізації режимів роботи систем електрозабезпечення промислових і цивільних об'єктів за критерієм мінімізації витрат на оплату електричної енергії необхідно на основі статичних даних роботи ГТЕК протягом року з використанням алгоритму імітації відпау сформувати оптимальні добові графіки споживання електричної енергії з урахуванням чинних тарифів на ЕЕ та обмежень на кількість запусків ДГУ протягом доби і кількість циклів заряду-розряду АБ протягом року

Вирішення задачі оптимізації витрат на оплату ЕЕ в системі електрозабезпечення промислових і цивільних об'єктів з використанням ВДЕ, ДГУ та накопичувачів ЕЕ необхідно проводити на основі оптимізованого добового графіка споживання електричної енергії з використанням спрогнозованих на основі статистичних і метеоданих графіків генерації ЕЕ ДГУ, ФЕС та ВЕС, оптимізованого добового графіка споживання ЕЕ ДГУ з урахуванням обмежень на кількість циклів заряду-розряду АБ з використанням генетичного алгоритму оптимізації.

Література

Бойко, О. В., Шендрик, В. В., Парфененко, Ю. В., Шендрик, С. О. (2019). Багатокритеріальний підхід до оцінки альтернативних варіантів гібридних енергетичних систем. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*, 204, 81—83.

Кузнєцов, М. П., Лисенко, М. П., Мельник О. А. (2018). Особливості стохастичної оптимізації гібридних енергосистем на базі ВДЕ. *Відновлювана енергетика*, 2, 6—15.

Лежнюк, П. Д., Комар, В. О., Собчук, Д. С. (2014). Определение оптимальной установленной мощности возобновляемых источников энергии в распределительной сети по критерию минимума потерь активной мощности. *Наукові праці Донецького національного технічного університету Сер. Електротехніка і енергетика*, 1(16), 130—135.

Лежнюк П. Д., Кулик В. В., Ковальчук О. А. (2011). Оптимальное керування розосередженими джерелами енергії в локальній електричній системі. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. Київ. Спецвипуск, 1, 48—55.

Лук'яненко, І. Г. & Жук, В. М. (2013) Аналіз часових рядів. Частина перша: Побудова ARIMA, ARCH/GARCH моделей з використанням пакета E.Views 6.0.: практичний посібник для роботи в комп'ютерному. К.: НаУКМА.

Мошенский, И. В., Лебединский, И. Л., Ноздренков, В. С. (2011). Прогнозирование электрических нагрузок промышленных предприятий с помощью вейвлетнейронных сетей. *Вісник СумДУ. Серія "Технічні науки"*, 3, 53—58.

Нефьодов, Ю. М., & Балицька Т. Ю. (2011). *Методи оптимізації в прикладах і задачах*. К.: Кондор.

Arevalo, P., Benavides, D., Lata-Garcia, J., Jurado, F. (2020). Techno-economic evaluation of renewable energy systems combining PV-WT-HKT. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 1256—1277. <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12567>.

Bertsimas, D., Tsitsiklis, J. (1993). Simulated Annealing. *Statistical Science*, 8(1), 10—15. <https://doi.org/10.1214/ss/1177011077>.

Bernal-Agustín, J. L., Yusta-Loyo, J. M., Dufo-López, R. (2011). Multi-objective optimization minimizing cost and life cycle emissions of stand-alone PV–wind–diesel systems with batteries storage, et al. *Applied Energy*, 88, 4033—4041. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.04.019>.

García-Vera, Y. E., DufoLópez R. & Bernal-Agustín, J. L. (2020). Techno-economic feasibility analysis through optimization strategies and load shifting in isolated hybrid microgrids with renewable energy for the non-interconnected zone (NIZ) of Colombia. *Energies*. 13, 6146—6156. <https://doi.org/10.3390/en13226146>.

García-Triviño, P., Torreglosa, J. P., Jurado, F., Fernández Ramírez, L. M. (2019). Optimised operation of power sources of a PV/battery/hydrogen-powered hybrid charging station for electric and fuel cell vehicles. *IET Renewable Power Generation*. 13(16), 3022—3032. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2019.0766>.

Karamov, D., Suslov, K. (2021). Structural optimization of autonomous photovoltaic systems with storage battery replacements. *Energy Reports*, 7, 349—358. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.01.059>.

Lukutin, B., & Muravyev, D. (2019). *Stand-alone power supply system with DC photo-diesel source*. E3S Web of Conferences, 114. <https://doi.org/10.1063/1.5120677>.

Lujano-Rojas, J. M. (2019). Contract design of direct-load control programs and their optimal management by genetic algorithm. *Energy*, 186, 115—118. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.137>.

Ogunjuyigbe, A. S. (2016). Optimal allocation and sizing of PV/Wind/Splitdiesel/Battery hybrid energy system for minimizing life cycle cost, carbon emission and dump energy of remote residential building. *Applied Energy*, 171, 153—171. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.051>.

Rantik, M. (1999). *Life Cycle Assessment of Five Batteries for Electric Vehicle under Different Charging Regimes*. Berlin: KFB Meddelande.

Shendryk, V., Boiko, O., Parfenenko, Y., Shendryk, S., Tymchuk, S. (2019). Decision Making for Energy Management in Smart Grid. Vicente González-Prida Diaz and Jesus Pedro Zamora Bonilla (Ed.). *Handbook of Research on Industrial Advancement in Scientific Knowledg*. (264—297). IGI: Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7152-0.ch014>.

Suhane, P. (2016). Sizing and performance analysis of standalone windphotovoltaic based hybrid energy system using ant colony optimization. *IET Renewable Power Generation*, 10(7), 964—972. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2015.0394>.

STEAM PIPE DIAMETER: HEAT ENERGY ASPECT

V. Filonenko

National University of Food Technologies

Key words:

Diameter of pipeline
Steam saturation
temperature gradient
Loss of pressure
Loss of the saturation
temperature of steam
Loss of steam enthalpy
drop in the turbin

Article history:

Received 07.03.2022
 Received in revised form
 21.03.2022
 Accepted 11.04.2022

Corresponding author:

V. Filonenko
E-mail:
 ipren@ukr.net

ABSTRACT

A method for determining the inner diameter of a steam pipeline through which energy in the form of a vapor phase is transported to heat exchangers or turbines, is formed in the article. This method is based on replacing the steam velocity as a determining parameter with the parameters of the pipeline system which determine the thermal and energy capacity of installations and turbines. The given method guarantees the level of the following operational parameters acceptable for thermal and power units:

- admissible decrease of available temperature pressure of heat transfer in industrial heat-technological installations;
- allowable reduction of generated electricity in turbines based on steam turbines with pressure.

The proposed method is based on the “binding” of the diameter of the steam pipeline not to the flow rate, but to the defining parameters of the process implemented in the unit to which steam is transported, namely to:

- $\Delta t_s^{\text{lower}}$ — reduction of technological steam from the source of supply to the heating chamber of the heat exchanger, °C;
- H_a^{lower} — reduction of adiabatic enthalpy difference in steam turbines with backpressure of turbines of CHPs of industrial enterprises in the transport steam pipeline from the source of hot steam (steam generator) to the steam turbine, kJ/kg.

The formed technique can also be applied to productions in which excessive pressure loss in the pipeline creates a thermal or energy problem, namely:

- for bypass steam pipelines between the chambers of multi-hull evaporators;
- for bypass full-filled pipelines of the product which evaporates in the chambers of multi-hull evaporators of sugar, pulp and paper productions etc;
- for self-suction pipelines of vacuum condenser units and centrifugal pumps and others.

Approbation of the proposed method was carried out for several facilities for which the energy management service formed the allowable pressure losses in transport pipelines, namely:

- for the system of transportation of heating steam to industrial enterprises and heat exchangers of these enterprises;
- for the system of interhull bypass pipelines of secondary steam and juice flow at sugar factories;
- for the system of transportation of hot steam from steam generators to turbo-installations on the basis of steam turbines with back pressure.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-2-8

ДІАМЕТР ПАРОПРОВОДУ: ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИЙ АСПЕКТ

В. М. Філоненко

Національний університет харчових технологій

У статті сформовано метод визначення внутрішнього діаметра паропроводу, що транспортує енергоносії у вигляді парової фази до теплообмінних установок або до турбоагрегатів, який базується на заміні швидкості пари як визначального параметра, на параметри трубопровідної системи, що визначають теплову й енергетичну потужність установок і турбоагрегатів.

Наведений метод гарантує прийнятний для теплових та енергетичних агрегатів рівень таких експлуатаційних параметрів:

- допустимого зниження наявного температурного напору теплопередачі в промислових теплотехнологічних установках;

- допустимого зниження генерованої електричної енергії в турбоагрегатах на базі парових турбін з протиском.

В основі запропонованого методу «прив'язка» діаметра паропроводу не до швидкості потоку, а до визначальних параметрів процесу, який реалізовано в агрегаті, до якого транспортується пара, зокрема до:

$\Delta t_s^{\text{зниж}}$ — зниження температури конденсації грійної пари в транспортному паропроводі від джерела постачання технологічної пари до грійної камери теплообмінного апарата, °C;

$\Delta H_a^{\text{зниж}}$ — зниження адіабатного перепаду ентальпій у парових турбінах з протитиском турбоагрегатів ТЕЦ промислових підприємств у транспортному паропроводі від джерела постачання гострої пари (парогенератора) до парової турбіни, кДж/кг.

Сформована методика може застосовуватись також для виробництв, у яких надмірна втрата тиску в транспортному паропроводі створює теплотехнічну або енергетичну проблему для паропроводів між корпусами багатокорпусних випарних установок (БВУ), перепускних повно заповнених трубопроводів продукту, що випаровується в БВУ цукрового, целюлозно-паперового та іншого виробництв, трубопроводів самовсмоктування вакуум-конденсаторних установок і відцентрових насосів тощо.

Апробація запропонованого методу здійснена для кількох об'єктів: системи транспортування грійної пари до промислових підприємств і теплообмінних апаратів цих підприємств (підігрівників, випарних установок, калориферів); системи міжкорпусних перепускних трубопроводів вторинної пари та сокового потоку БВУ цукрових заводів; системи транспортування гострої пари від парогенераторів до турбоустановок ТЕЦ на базі парових турбін з протитиском. Для цих об'єктів службою енергоменеджменту сформовано допустимі втрати тиску в транспортних трубопроводах.

Ключові слова: діаметр паропроводу, градієнт температури насичення пари, втрата тиску, зниження температури насичення пари, зниження адіабатного теплоперепаду турбіни.

Постановка проблеми. У разі проектування або реконструкції систем підведення грійної або енергетичної пари до теплообмінних або енергетичних агрегатів — парових турбін, слід враховувати гідравлічні втрати тиску в транспортній магістралі — $\Delta p_{\text{втр}}$, які визначають проектно-розрахункові значення тиску пари на виході з джерела її генерації і тиску пари перед її споживачем.

Визначення діаметра паропроводів для транспортування пари до теплообмінних апаратів, парових турбін, компресорів тощо є актуальним завданням промислової теплоенергетики, оскільки надмірні втрати тиску суттєво впливають на досягнення ними проектно-розрахункової теплової або енергетичної потужності.

Домінуючим методом визначення необхідного внутрішнього діаметра паропроводу — $d_{\text{вн}}$, є «кінематичний» метод, що базується на використанні рівняння нерозривності потоку (Рогалевич, 2010; Сидоренко & Яхно, 2007; Кулінченко, 2006):

$$G_{\text{пари}} = (\pi \cdot d_{\text{вн}}^2 / 4) \cdot \rho_{\text{пари}} \cdot V_{\text{пари}} \cdot 3,6, \quad (1)$$

де $G_{\text{пари}}$ — масова, технологічно (енергетично) обґрунтована витрата пари в паропроводі, т/год; $\rho_{\text{пари}}$ — питома вага пари в паропроводі, кг/м³; $V_{\text{пари}}$ — експлуатаційно прийнятна для системи швидкість пари в паропроводі, м/с; 3,6 — коефіцієнт, що корелює співвідношення розмірностей «т/кг» та «с/год»; π — число 3,14.

Розрахункова формула для визначення потрібного внутрішнього діаметра паропроводу — $d_{\text{вн}}$, м, передбачає використання завчасно відомої швидкості потоку — $V_{\text{пар}}$.

Визначення потрібного діаметра за «кінематичним» методом здійснюють за розрахунковою формулою, отриманою з рівняння (1):

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{пари}}}{\pi \cdot \rho_{\text{пари}} \cdot V_{\text{пари}} \cdot 3,6}}. \quad (2)$$

Особливістю рівняння (3) є те, що параметр $d_{\text{вн}}$ є аргументом, тобто має бути завчасно відомим, а параметр $G_{\text{пари}}$ є функцією цього рівняння. У рівнянні (2), навпаки, параметр $G_{\text{пари}}$ є аргументом, тобто завчасно відомим, а параметр $d_{\text{вн}}$ є функцією. За умови взаємної оберненості математичних виразів (3) і (4) задача розрахунку $d_{\text{вн}}$ є невизначеною, оскільки залежить від двох параметрів, які є невідомими.

У практиці теплоенергетичних розрахунків невідомий параметр у системі наведених рівнянь, зокрема експлуатаційна швидкість пари в паропроводі — $V_{\text{пари}}$, вважається наперед відомим з галузевих рекомендацій (табл. 1). За цієї умови задача визначення $d_{\text{вн}}$ за формулою (2) отримує однозначне вирішення.

Але, зважаючи на значний (від 25% до 100%) діапазон рекомендованих швидкостей пари, визначений при максимальній швидкості діаметр паропроводу може відрізнятись від визначеного при мінімальній швидкості від 1,1 до 1,4 раза. Відповідні втрати тиску в паропроводі, враховуючи квадратичну залежність втрати тиску від швидкості потоку, відрізнятимуться, відповідно, в 1,5 і 4 рази.

Таблиця 1. Експлуатаційні рекомендації щодо рекомендованих швидкостей у трубопроводах

Назва потоку	Умови транспортування	Рекомендована швидкість у трубопроводі, м/с	Перевищення максимальної швидкості над мінімальною, од., %
Рідина	Всмоктувальний трубопровід насоса	0,8—2,0	2,5 (150%)
	Нагнітальний трубопровід насоса	1,5—3,0	2,0 (100%)
Водяна пара	Перегріта пара	30—50	1,67 (67%)
	Насичена пара:		
	під тиском $> 10^5$ Па	15—25	1,67 (67%)
	під тиском $(1,0-1,05) \cdot 10^5$ Па	20—40	2,0 (100%)
	під тиском $(0,2-0,5) \cdot 10^5$ Па	40—60	1,5 (50%)
	під тиском $(0,05-0,2) \cdot 10^5$ Па	60—75	1,25 (25%)

Наведений підхід до визначення діаметра паропроводів до теплообмінних апаратів і парових турбін, що вимагають мінімізації втрат тиску енергоносія, на авторську думку, потребує вдосконалення в частині приведення його до відповідності термодинамічним і теплотехнічним вимогам систем транспортування енергоносія.

Структура формул (3) і (4) засвідчує, що їх аргументи — швидкість, витрата, густина, є так званими «кінематичними» параметрами потоку, тобто визначеними без розгляду причин, які характеризують рух пари.

Застосування швидкості «виводить» з числа визначальних параметрів суттєві гідравлічні, теплотехнічні та енергетичні параметри трубопроводної системи, які функціонально залежать від швидкості, що є суттєвим недоліком існуючого методу визначення діаметра транспортних паропроводів.

Формула (4) «ігнорує», зменшення температури конденсації (насичення) пари — t_s , °C, і «появу» параметра $\Delta t_s^{\text{зниж}}$, °C — зниження t_s , по довжині паропроводу. А величина t_s є важливим експлуатаційним параметром теплообміну, що формує наявний температурний напір — $\Delta t^{\text{ТОА}}$, °C.

Значення $\Delta t_s^{\text{зниж}}$ визначає величину наявного температурного напору в ТОА — $\Delta t^{\text{ТОА}}$, °C, і, згідно із законом теплопередачі, їх теплову потужність — $Q_{\text{ТОА}}$, кВт, та площу поверхні теплообміну — $F_{\text{ТОА}}$, м² (Малишев, Кретов & Гладка, 2015; Дубровська & Шкляр, 2016; Lienhard-IV, 2019).

Так, зниження температури насичення (конденсації) грійної пари — t_s , на 1°C у разі низьких наявних $\Delta t^{\text{ТОА}}$, від 6°C до 11°C, характерних для ефективних поверхонь теплообміну підігрівників і випарних апаратів, призводить до зменшення, відповідно, на 11% та 5% їх теплової потужності. А зниження t_s на 2°C для тих же значень $\Delta t^{\text{ТОА}}$, відповідно, призводить до зменшення на 21,6% та 11,6% їх теплової потужності.

Формула (4) також не враховує зниження адіабатного перепаду ентальпій (так званого теплоперепаду) парового потоку в проточній частині турбіни — $\Delta H_a^{\text{зниж}}$, кДж/кг, внаслідок втрати тиску в паропроводі, що транспортує гостру пару від парових котлів до парової турбіни. А значення $\Delta H_a^{\text{зниж}}$ визначає величину перепаду ентальпій гострої і відпрацьованої пари — H_a , кДж/кг, в паровій турбіні і,

відповідно до рівняння потужності турбоагрегату, електричну потужність турбоагрегату (Герасимов, 2012; Мисак, 2007).

Так, зниження тиску гострої пари в паропроводі від парового котла до стопорного клапана турбіни у 2—3 атм. обумовлює недовироблення електричної енергії протитисковим турбоагрегатом, залежно від параметрів (тиску й температури) гострої пари промислових турбоагрегатів від (1,6—2,5)% для середніх параметрів до (7,5—12,7)% для низьких параметрів.

Використання вказаної формули можливе тільки у разі визнання споживачем несуттєвої втрати тиску і зменшення температури конденсації пари для енерготехнології виробництва. Такі умови в промислових технологіях існують у разі транспортування потоків пари на незначні ≤ 5 м відстані і з невисокими (≤ 10 м/с) швидкостями.

За вказаних умов зниження тиску в потоці пари і зменшення температури конденсації пари будуть незначними і суттєво не впливатимуть на ефективність процесів теплопередачі.

Наведений підхід має право на існування за таких умов експлуатації, за яких гідравлічні й енергетичні показники процесу транспортування не є суттєвими для теплоенергетичних процесів і для яких вплив умов транспортування енергоносія (пари) може не враховуватись.

Застосоване рівняння нерозривності потоку (1) містить у собі далеко не повний перелік параметрів, що визначають діаметр паропроводу. З позицій гідравліки, теплопередачі, термодинаміки парового потоку, до параметрів, що визначають діаметр паропроводу, належать також: втрата тиску на певній його довжині — $\Delta p_{\text{втр}}$, зниження температури конденсації грійної пари — $\Delta t_s^{\text{зниж}}$, зниження адіабатного перепаду ентальпій для парових турбін $\Delta H_a^{\text{зниж}}$, градієнт температури насичення пари, що транспортується — $(dt/dp)_s$, градієнт адіабатного перепаду ентальпій для парових турбін та компресорів — dH_a/dp .

У промисловій теплоенергетиці процес транспортування енергоносія — водяної пари, є невід'ємною складовою виробничих теплоенергетичних процесів: теплопередачі, генерації електричної енергії, випаровування, концентрування сушіння тощо. І діаметр паропроводу, як експлуатаційний параметр технологічної системи, суттєво впливає на результат теплотехнологічного або енергетичного процесу.

Отже, створення рівняння, що визначає діаметр паропроводу, яке б включало в свою структуру максимальну кількість визначальних параметрів теплотехнологічних або енергетичних процесів, набуває науково-практичного значення й актуальності.

На авторську думку, визначення діаметрів трубопроводів, що транспортують енергоносії в системах промислової теплоенергетики, є проблемою не лише кінематичною, розв'язання якої зводиться до прив'язки діаметра до швидкості відповідно до закону нерозривності потоку, що транспортується по паропроводу. Проблема і теплоенергетична, і термодинамічна, що обумовлено кількома обставинами.

Наявність трубопроводу належного діаметра гарантує мінімізацію втрат не тільки тиску енергоносія, а втрат або перевитрат роботи та потужності парових

турбін, турбогенераторів, компресорів, які задіяні в системах генерації електричної енергії та штучного холоду, системах транспортування енергоносіїв, у системах теплообміну й теплопередачі.

З технічної та навчальної літератури відома емпірична формула Дарсі-Вейсбаха для визначення втрат тиску в потоці води в трубопроводі в одиницях виміру «м вд.ст.» — $h_{\text{втр}}$, м вд.ст. (Рогалевич, 2010; Сидоренко & Яхно, 2007; Кулінченко, 2006):

$$h_{\text{втр}} = \frac{(\lambda_{\text{труб}} \cdot L_{\text{труб}} / d_{\text{вн}} + \sum \xi_{\text{місц}}) \cdot V^2}{2g}. \quad (3)$$

Модифікований вигляд формули (5) для визначення втрат тиску в потоці пари, що рухається в паропроводі в одиницях виміру «бар» — $\Delta p_{\text{втр}}$, бар, залежно від швидкості пари — V , м/с, та залежно від масового пропуску пари — $G_{\text{пари}}$ має вигляд:

$$\Delta p_{\text{втр}} = \frac{10^{-5} \cdot (\lambda_{\text{труб}} \cdot L_{\text{труб}} / d_{\text{вн}} + \sum \xi_{\text{місц}}) \cdot \rho_{\text{пари}} \cdot V_{\text{пари}}^2}{2}; \quad (4)$$

$$\Delta p_{\text{втр}} = \frac{6,26 \cdot 10^{-7} \cdot (\lambda_{\text{труб}} \cdot L_{\text{труб}} / d_{\text{вн}} + \sum \xi_{\text{місц}}) \cdot G_{\text{пари}}^2}{\rho_{\text{пари}} \cdot d_{\text{вн}}^4}, \quad (5)$$

де 10^{-5} ; $6,26 \cdot 10^{-7}$ — коефіцієнти, що корелюють співвідношення розмірностей у структурі, відповідно, формула (4) та формула (5);

$V_{\text{пари}}$ — швидкість пари в паропроводі, м/с;

$L_{\text{труб}}$ — фактична довжина паропроводу, м;

$\sum \xi_{\text{місц}}$ — сумарний коефіцієнт місцевих опорів в паропроводі, од.;

$\lambda_{\text{труб}}$ — коефіцієнт гідравлічного тертя, од. Визначається за формулами відповідно до режиму течії потоку в трубопроводі: ламінарного (за умови $Re < 232$), турбулентного для гідравлічно гладких труб (за умови $2320 < Re < 150 \cdot 10^5$) і турбулентного для гідравлічно шорстких труб (за умови $Re > 150 \cdot 10^5$);

$d_{\text{вн}}$ — внутрішній діаметр паропроводу, м;

$G_{\text{пари}}$ — масова витрата пари в паропроводі, т/год;

$\rho_{\text{пари}}$ — густина пари, усереднена по довжині паропроводу, кг/м³. За відсутності точного значення може бути визначена орієнтовно (з похибкою не вище 2%) відповідно до Менделєєва-Клапейрона за формулою:

$$\rho_{\text{пари}} = \frac{p_{\text{пари}} \cdot 10^5}{R_{\text{пари}} \cdot T_{\text{пари}}}, \quad (6)$$

де 10^5 — коефіцієнт, що корелює співвідношення розмірностей «Н/м²» та «бар» в структурі формули;

$p_{\text{пари}}$ — усереднений по довжині паропроводу тиск пари, бар;

$R_{\text{пари}}$ — газова константа для водяної пари, дорівнює 461 Дж/(кг·К);

$T_{\text{пари}}$ — усереднена по довжині паропроводу температура пари, К.

З формули (5), за аналогією з виведенням формули (2), визначається внутрішній діаметр паропроводу — $d_{\text{вн}}$, м:

$$d_{\text{вн}} = 5 \sqrt{\frac{6,26 \cdot 10^{-7} \cdot \lambda_{\text{труб}} \cdot (L_{\text{труб}} + \sum \xi_{\text{місц}}) \cdot G_{\text{парі}}}{\Delta p_{\text{втр}} \cdot \rho_{\text{парі}}}}. \quad (7)$$

У структурі формули (7) серед «кінематичних» параметрів, відомих із формули (2), що визначають діаметр паропроводу, з'являється гідравлічний параметр $\Delta p_{\text{втр}}$, бар, — втрата тиску в потоці пари, яка транспортується, що є ключовим параметром в аспекті теплотехніки й енергетики транспортування водяної пари як енергоносія.

Втрата тиску пари під час її транспортування не є кінцевим результатом теплотехнічного або енергетичного процесу промислового виробництва, тому виникає потреба в «прив'язці» втрати тиску до кінцевого теплотехнічного або енергетичного процесів, що реалізуються в тій або іншій енерготехнології, до так званого «бенефіціару» процесу.

На авторську думку, «бенефіціаром» зменшення втрат тиску може бути прийнято:

- для процесу теплопередачі — наявний температурний напір у грійній камері теплообмінного апарата — Δt^{TOA} , °C;

- для процесу генерації електричної енергії в парових турбоагрегатах — адіабатний теплоперепад гострої пари в проточній частині парової турбіни — H_a , кДж/кг.

Слід зауважити, що втрата тиску в потоці пари, що транспортується паропроводом, визначає цілий ряд теплотехнічних і термодинамічних параметрів виробничих процесів, а саме:

- температуру насичення (конденсації) водяної пари відповідно до взаємозв'язку між температурою і тиском насичення пари;

- наявний температурний напір парорідинного теплообмінника відповідно до закону зміни температур теплоносіїв вздовж поверхні теплообміну;

- теплове навантаження та площу поверхні теплообміну парорідинного теплообмінника відповідно до закону теплопередачі;

- адіабатний перепад ентальпій у паровій турбіні й електричну потужність турбоагрегату відповідно до рівняння електричної потужності турбоагрегату.

Як відомо в експлуатаційні практики енергетичного обладнання службами енергетичного менеджменту сформовано (з техніко-економічних міркувань) перелік певних обмежень на рівень зменшення ключових параметрів теплотехнічних та енергетичних процесів, обумовлених гідравлічними втратами тиску в транспортних паропроводах.

Так:

- для парорідинних теплообмінних апаратів (ТОА) з невисокими наявними температурними напорами ($\Delta t^{\text{TOA}} = 4^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}$) вважається допустимим зменшення температури конденсації грійної пари в транспортному паропроводі не більше ніж на 10% від наявного температурного напору, тобто $(\Delta t^{\text{зниж}})_{\text{доп}} \leq \Delta t^{\text{TOA}}$;

- для парових турбін турбоагрегатів вважається допустимим зменшення адіабатного теплоперепаду гострої пари в турбіні внаслідок втрат тиску в транспортному паропроводі не вище 0,5% від номінального теплоперепаду, тобто $(\Delta H_a^{\text{зниж}})_{\text{доп}} \leq \Delta H_a^{\text{ном}}$.

Причинами зменшення вищенаведених параметрів є втрата тиску пари внаслідок гідравлічних втрат у паропроводі, що транспортує пару. У такому разі можливо визначати діаметр трубопроводу за рівнянням (5) безпосередньо за заданими обмеженнями ключових експлуатаційних параметрів, здійснивши заміну параметра $\Delta p_{\text{втр}}$ (втрату тиску) на відповідні допустимі (прийнятні з позиції енергоменеджменту виробництва) значення параметрів $(\Delta t_{\text{снизж}})_{\text{доп}}$ і $(\Delta H_{\text{анизж}})_{\text{доп}}$.

Отже, формування залежностей для визначення $\Delta p_{\text{втр}}$ як функції параметрів $(\Delta t_{\text{снизж}})_{\text{доп}}$ та $(\Delta H_{\text{анизж}})_{\text{доп}}$ та створення розрахункових формул для визначення діаметру транспортних паропроводів потребує науково-технічного обґрунтування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз українських і зарубіжних науково-технічних джерел інформації останніх років, в яких в тому чи іншому аспектах формуються або вирішуються проблеми трубопровідного транспортування енергоносіїв, засвідчив відсутність публікацій, які б вирішували тепло-технічний або енергетичний аспекти визначення діаметра паропроводу (Mohitpour, 200; Mohitpour, 2003; Liu, 2003; Світлий & Білецький, 2009; Калюжний, Зубричева & Михайлик, 2017).

Проблеми, які виникають в результаті експлуатації вже визначених діаметрів в тих або інших розподільчих трубопровідних системах, вирішуються у (Cherniuk, 2008; Чернюк, 2015; Чернюк, Яхно & Гнатів, 2016). У (Бігун, 2019; Bosak, Cherniuk, Matlai & Bihun, 2019) розглядаються задачі зменшення втрат тиску, що виникають у створених сучасних гідромеханічних системах, та проблеми нерівномірності розподілу в напірних трубопровідних системах. Методології розрахунку транспортних трубопроводів з метою зменшення їх енергоємності удосконалюються у (Дорошенко, 2020; Калюжний, 2016). Також у (Doroshenko, 2020) описуються проблеми експлуатаційного та корозійного зношення трубопроводів, а в (Trench & Miesner, 2006) — енергетичні аспекти експлуатації трубопроводів.

Тобто проблема визначення діаметрів трубопровідних систем продовжує бути актуальною. Розв'язання її розглядається в науковому плані у напрямках впливу експлуатаційних, конструкторських та економічних, але не теплотехнічних або енергетичних факторів.

Застосування формули, сформованої на основі рівняння нерозривності, обмежено сферами, для яких немає значення ні тиск, ні довжина, ні наявність місцевих опорів, ні гідравлічні втрати, ні зменшення температури конденсації, ні перепади ентальпій. Тобто для дуже вузького кола технологічних проблем. А самі ці фактори належать до визначальних у процесах теплообміну та генерації електричної енергії на базі термодинамічних циклів.

Застосування цієї формули для реальних установок призводить до втрати продуктивності випарних установок, недовироблення електричної енергії турбоагрегатами, зменшення поверхні теплообміну або теплової потужності підігрівників тощо.

Перехід методу визначення діаметра паропроводу від рівняння нерозривності до формули Дарсі-Вейсбаха як гідромеханічної основи транспортування пари в трубопроводі, на авторську думку, є актуальним завданням.

Мета дослідження: науково обґрунтувати метод визначення діаметра паропроводів, що транспортують пару до енергетичного, теплообмінного й технологічного обладнання з урахуванням параметрів теплообміну та параметрів тепло-техніки і термодинаміки природи діючих факторів та уникнути методу послідовних наближень, а також сформулювати розрахункові формули, які б вийшли за межі «кінематичної» методології визначення діаметра і які забезпечували б мінімізацію зниження наявних температурних напорів теплопередачі в теплообмінних апаратах — Δt° , $^\circ\text{C}$, і адіабатних перепадів ентальпій — H_a , кДж/кг , в парових турбінах турбоагрегатів.

Застосування такого методу забезпечило б вироблення максимальної електричної потужності турбоагрегатів і максимальної теплової потужності теплообмінників та випарних апаратів у системах генерації електричної енергії та системах теплоспоживання.

Завдання полягає в тому, щоб використати емпіричну формулу Дарсі-Вейсбаха, але для визначення належного, науково обґрунтованого внутрішнього діаметра паропроводу, що транспортує пару, виявивши взаємозв'язок між:

- теплотехнічно регламентованою (мінімально допустимою) втратою тиску пари в паропроводі і градієнтом температури конденсації (насичення) пари — $(dt/dp)_s$, $^\circ\text{C/бар}$;

- енергетично регламентованою (мінімально допустимою) втратою тиску пари в паропроводі і градієнтом адіабатного теплоперепаду в паровій турбіні — dH_a/dp , $(\text{кДж/кг})/\text{бар}$.

Матеріали і методи. Матеріалом дослідження є:

- паропроводи, що транспортують насичену і перегріту водяну пару від джерела її генерації до грійних камер споживачів теплоти пари та до парових турбін турбоагрегатів теплових електричних станцій;

- матеріали енергетичних аудитів систем пароспоживання промислових підприємств і систем генерації електричної енергії в паросилових установках з різними параметрами гострої та відпрацьованої пари;

- рівняння електричної потужності турбоагрегатів;

- рівняння теплопередачі та формули для визначення наявних температурних напорів теплообмінників;

- співвідношення термодинамічних параметрів водяної пари: тиску, густини, температури насичення.

Методами дослідження є емпіричні методики гідродинамічного розрахунку турбулентної течії парових потоків у паропроводах, методи визначення втрат тиску, відповідного зниження температури конденсації водяної пари та зменшення адіабатних перепадів ентальпій гострої пари в парових турбінах турбоагрегатів.

Результати і обговорення. *Визначення діаметрів транспортних паропроводів для теплообмінних апаратів.* Відомо, що зменшення наявного температурного напору в теплообмінному апараті призводить до зменшення його теплової потужності в умовах експлуатації або до зменшення поверхні теплообміну в його проектних розрахунках (Малишев, 2015).

Відомо, що зменшення тиску пари в грійній камері теплообмінного апарата, внаслідок гідравлічних втрат у транспортному паропроводі, призводить до термодинамічно обумовленого зменшення температури насичення (температури конденсації).

Відповідність між температурою конденсації (насичення) водяної пари — t_s , °C, з якою вона буде конденсуватися в грійній камері теплообмінного апарата, і його абсолютним тиском — p_s , бар, встановлює емпірична формула (Дубровська, 2016):

$$p_s = 1,33 \cdot 10^{-3} \cdot \exp\left(18,3 - \frac{3186}{t_s + 227}\right). \quad (8)$$

Відомо, що градієнт температури насичення водяної пари — t_s по його тиску — p_s для низьких тисків, характерних для теплообмінних апаратів харчової промисловості — $(dt/dp)_s$, °C/бар, не є незмінною величиною, а залежить від тиску цієї пари (Наливайко & Філоненко, 2021; Філоненко, Цыганков & Швецов, 2018) (рис. 1).

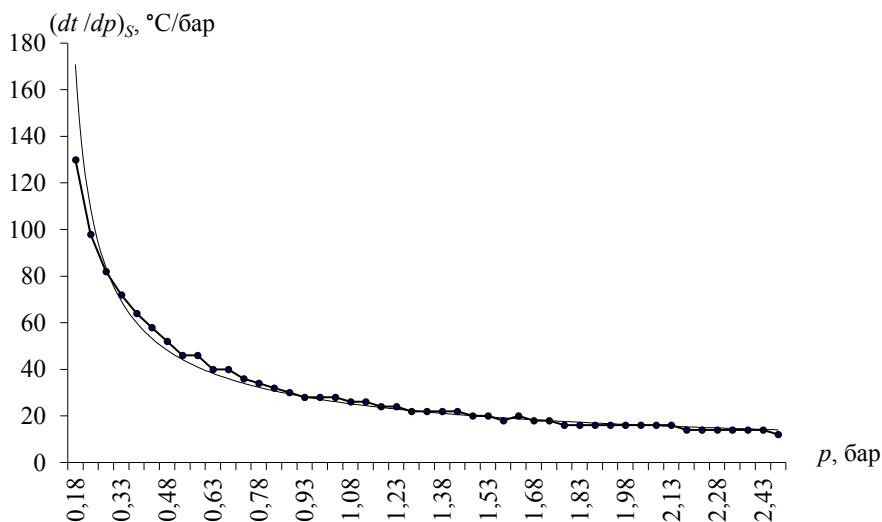


Рис. 1. Залежність $(dt/dp)_s$, °C/бар, у діапазоні тисків промислових теплотехнологій

Наявність функціональної залежності $(dt/dp)_s = f(p)$ дає змогу, оскільки $(dt/dp)_s = \Delta t_s^{\text{зниж}} / \Delta p^{\text{зниж}}$ за визначенням, за відомої гідравлічної втрати тиску в транспортному паропроводі — $\Delta p^{\text{зниж}}$, визначити числове значення зменшення температури конденсації (насичення) пари $\Delta t_s^{\text{зниж}}$ за формулою:

$$\Delta t_s^{\text{зниж}} = \Delta p^{\text{зниж}} \cdot (dt/dp)_s. \quad (9)$$

А за умови відомого (заданого) зменшення температури насичення пари — $\Delta t_s^{\text{зниж}}$: Формула (8) дає змогу визначити числове значення гідравлічних втрат тиску в транспортному паропроводі — $\Delta p^{\text{зниж}}$:

$$\Delta p^{\text{зниж}} = \Delta t_s^{\text{зниж}} / (dt/dp)_s. \quad (10)$$

Тому, замінивши у формулі (7) параметр $\Delta p_{\text{зниж}}$ виразом (10), отримуємо розрахункову формулу для визначення потрібного внутрішнього діаметра транспортного паропроводу — $d_{\text{вн}}^{\text{мін}}$, м, до теплообмінного апарата залежно від $(\Delta t_s^{\text{зниж}})_{\text{доп}}$ — допустимого зменшення температури насичення грійної пари:

$$d_{\text{вн}}^{\text{мін}} = \sqrt[5]{\frac{6,26 \cdot 10^{-7} \cdot \lambda_{\text{труб}} \cdot (L_{\text{труб}} + L_{\text{екв}}) \cdot G_{\text{пари}} \cdot \left(\frac{dt}{dp}\right)_s}{(\Delta t_s^{\text{зниж}})_{\text{доп}} \cdot \rho_{\text{пари}}}}, \quad (11)$$

$L_{\text{труб}}$ — фактична довжина паропроводу, м;

$L_{\text{екв}}$ — довжина паропроводу, еквівалентна його сумі місцевих опорів, м. Розраховується за формулою:

$$L_{\text{екв}} = \sum \xi_{\text{місц}} \cdot d_{\text{вн}}^{\text{мін}} / \lambda_{\text{труб}}; \quad (12)$$

$\sum \xi_{\text{місц}}$ — сума місцевих опорів (відводів, звужень, розширень, регулювальної та запірної арматури та інш) в транспортному паропроводі, од.;

$(dt/dp)_s$ — градієнт зниження температури насичення водяної пари, залежно від значення її тиску, град/бар. Визначається відповідно до обраного аргумента або температури насичення пари (t_s , °C), або абсолютного тиску пари (p , бар):

$$\text{або за формулою: } (dt/dp)_s = 28,3 \cdot p^{-0,82}; \quad (13)$$

$$\text{або за формулою: } (dt/dp)_s = 6,9 \cdot 10^6 \cdot t_s^{-2,7}; \quad (14)$$

$(\Delta t_s^{\text{зниж}})_{\text{доп}}$ — експлуатаційно допустиме зниження температури конденсації (насичення) грійної пари в транспортному паропроводі. Визначається службами енергетичного менеджменту виробництва в межах від 0,5°C до 2,0°C;

$\rho_{\text{пари}}$ — питома густина пари в паропроводі, кг/м³.

Максимально допустима втрата тиску гострої пари в транспортному паропроводі — $\Delta p_{\text{втр}}^{\text{доп}}$, бар, визначається за формулою:

$$\Delta p_{\text{втр}}^{\text{макс.доп}} = (\Delta t_s^{\text{зниж}})_{\text{доп}} / (dt/dp)_s. \quad (15)$$

Максимально допустима швидкість гострої пари транспортному паропроводі — $V^{\text{макс.доп}}$, м/с, визначається за формулою:

$$V^{\text{макс.доп}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5 \cdot \Delta p_{\text{втр}}^{\text{доп}} \cdot d_{\text{вн}}^{\text{мін}}}{\lambda_{\text{труб}} \cdot (L_{\text{труб}} + L_{\text{екв}}) \cdot \rho_{\text{пари}}}}. \quad (16)$$

Для прикладу, за умови транспортування до підігрівника технологічного продукту грійної пари з тиском 0,48 бар у кількості 7,0 т/год год за умов: $\Delta t_{\text{зниж}}^{\text{доп}} = 1,0^\circ\text{C}$, $L_{\text{труб}} = 40$ м, $L_{\text{екв}} = 20$ м, $\rho_{\text{пари}} = 0,293$ кг/м³, $\sum \xi_{\text{місц}} = 2,0$, $(dt/dp)_s = 50,0^\circ\text{C/бар}$, внутрішній діаметр транспортуючого паропроводу має бути діаметром 0,256 м:

$$d_{\text{вн}}^{\text{мін}} = [6,26 \cdot 10^{-7} \cdot 0,025 \cdot (40,0 + 20,0) \cdot 7,0 \cdot 50,0 / (1,0 \cdot 0,293)]^{0,2} = 0,256 \text{ м.}$$

Максимально допустима втрата тиску гострої пари в транспортному паропроводі — $\Delta p_{\text{втр}}^{\text{макс.доп}} = 1,0/50,0 = 0,02$ атм.

Максимально допустима швидкість гострої пари транспортному паропроводі — $V^{\text{макс.доп}} = \{2 \cdot 10^5 \cdot 0,02 \cdot 0,256 / [0,025 \cdot (40,0 + 20,0) \cdot 0,293]\}^{0,5} = 48,3$ м/с.

Визначення діаметра паропроводу, що транспортує гостру пару для парових турбін турбоагрегатів. Відомо, що зниження тиску гострої пари перед турбіною призводить до зменшення різниці ентальпій гострої — h_0 і адиабатно (ізоентропно)

відпрацьованої — $h_{п.а}$ пари, т. зв. адіабатного теплоперепаду в паровій турбіні — H_a :

$$H_a = h_o - h_{п.а}, \quad (17)$$

де H_a — ізотропний (адіабатний) теплоперепад пари в паровій турбіні турбоагрегату, кДж/кг;

h_o — ентальпія гострої пари на вході в турбіну, кДж/кг;

$h_{п.а}$ — ентальпія відпрацьованої пари на виході з турбіни, кДж/кг.

Негативним наслідком зменшення H_a в паровій турбіні є зменшення його електричної потужності — $W_{ТА}$, кВт, відповідно до рівняння електричної потужності турбоагрегату на базі парової турбіни з протитиском, (Герасимов, 2012; Мисак, 2007):

$$W_{ТА} = (D_o / 3,6) \cdot H_a \cdot \eta_{oi} \cdot \eta \cdot \eta_m \eta_{др}, \quad (18)$$

де D_o — витрата гострої пари на вході в парову турбіну, т/год; η_{oi} , η_m , $\eta_{др}$ — система ККД турбоагрегату.

Експлуатаційною причиною зменшення тиску гострої пари перед турбіною є наявність гідравлічних втрат тиску в паропроводі, що транспортує гостру пару від парогенераторів ТЕЦ до турбоагрегатів — $\Delta p_{втр}$, формула (6). Матеріали енергетичних аудитів турбоустановок промислових ТЕЦ засвідчують, що внаслідок значної (до 90 м) довжини і значної кількості місцевих опорів, втрата тиску гострої пари в транспортному паропроводі може становити до 3,0 бар, що суттєво зменшує (нижче номінальної) експлуатаційну потужність турбоагрегатів. Рис. 2 ілюструє визначену проблему.

Унаслідок втрати тиску гострої пари в транспортному паропроводі — $\Delta p_{втр}$, її тиск перед турбіною зменшується від p_o (на виході з парогенераторів) до p_o' . Лінія AB ідентифікує процес дроселювання (зниження тиску) пари. Внаслідок дроселювання початок робочого процесу розширення гострої пари в проточній частині турбіни зміщується вправо, відносно поз. A , в поз. B , що суттєво зменшує адіабатний теплоперепад у паровій турбіні — $H_a' < H_a$, внаслідок впливу кривизни ізобари — p .

Зниження електричної потужності турбоагрегатів, унаслідок використання зменшених діаметрів паропроводів гострої пари, особливо для турбоагрегатів з низькими тисками гострої пари, може досягати 30% від номінальної потужності.

Отже, формування методології визначення діаметра паропроводів гострої пари для промислової теплоенергетики має під собою енергетичне і фінансове обґрунтування, оскільки недовироблену електроенергію власної генерації належить закуповувати в енергосистемі.

З метою визначення функціональної залежності $\Delta H_a^{\text{зниж}}$ від $\Delta p_{втр}$ і формування розрахункової формули для визначення належного діаметра паропроводу гострої пари, що гарантував би допустимий рівень втрат адіабатного теплоперепаду гострої пари — $(\Delta H_a^{\text{зниж}})_{\text{доп}}$, і допустимий рівень недовироблення електричної енергії для промислових турбоагрегатів здійснено дослідження взаємозв'язку відповідних термодинамічних параметрів промислових турбоагрегатів на базі парових турбін з протитиском. Результати дослідження наведено в табл. 2.

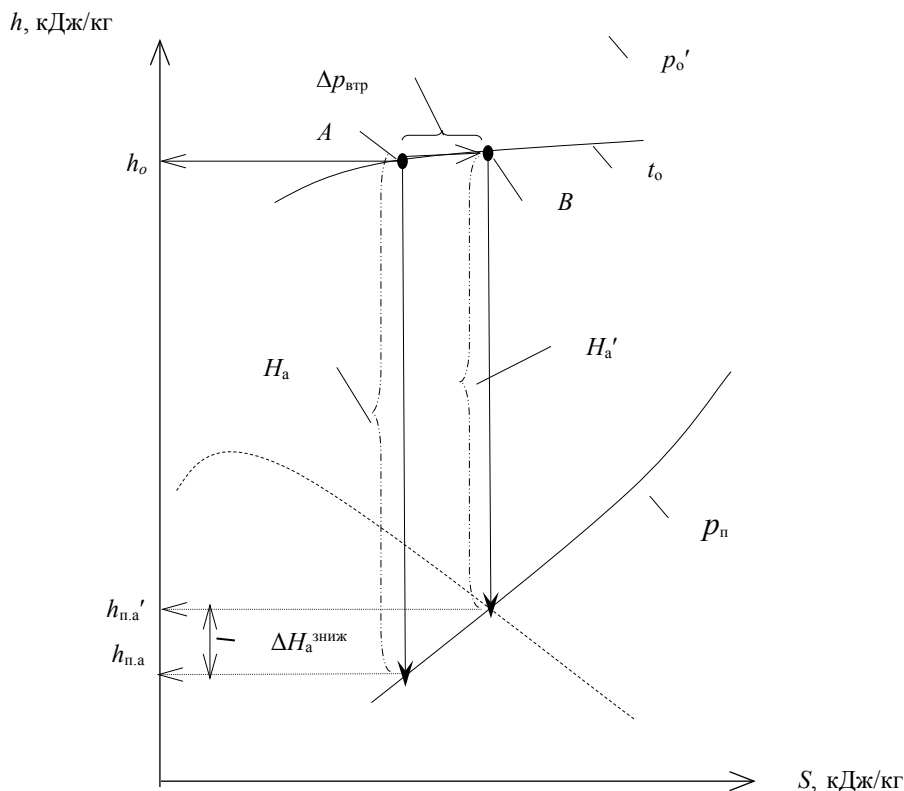


Рис. 2. Взаємозв'язок втрати тиску гострої пари в транспортному паропроводі гострої пари ($\Delta p_{\text{втр}}$) і зменшення адиабатного теплоперепаду ($\Delta H_{\text{а'зний}}$) в паровій турбіні:

h_o — ентальпія гострої пари перед стопорним клапаном турбіни, кДж/кг; t_o — температура гострої пари перед стопорним клапаном турбіни, °С; p_o, p_o' — тиск (абсолютний) гострої пари, відповідно, на виході з парогенераторів і на вході в парову турбіну, бар; $\Delta p_{\text{втр}}$ — гідравлічні втрати тиску гострої пари в транспортному паропроводі, бар; AB — процес дроселювання (втрати тиску) гострої пари в паропроводі, що транспортує гостру пару до турбіни. $p_{\text{п}}$ — тиск (абсолютний) відпрацьованої пари на виході з турбіни, бар; $h_{\text{п.а}}, h_{\text{п.а}}'$ — адиабатна ентальпія відпрацьованої пари турбіни, відповідно, без урахування втрат тиску в паропроводі і з їх урахуванням, кДж/кг; $H_a, H_{a'}$ — адиабатний теплоперепад гострої пари в паровій турбіні, відповідно, без втрати тиску і з втратою тиску в транспортному паропроводі. $\Delta H_{\text{а'зний}}$ — зниження (втрата) адиабатного теплоперепад гострої пари в турбіні внаслідок гідравлічних втрат її тиску в транспортному паропроводі, кДж/кг

Таблиця 2. Термодинамічні параметри парових турбін з протитиском за наявності гідравлічних втрат тиску гострої пари в транспортному паропроводі

$\Delta p_o^{\text{втр}}$ бар	p_o , бар	h_o , кДж/кг	$h_{\text{п.а}}$, кДж/кг	H_a , кДж/кг	$\Delta H_{\text{а'зний}}$, кДж/кг	$\Delta H_{\text{а'зний}}/\Delta p^{\text{втр}}$, (кДж/кг)/бар	dH_a/dp , (кДж/кг)/бар
1	2	3	4	5	6	7	8
Для параметрів гострої пари 35 бар/435°С							
0	35,0	3303	2712	591,9	—	—	4,7
0,5	34,5	3304	2714	589,6	2,3	4,6	

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8
1,5	33,5	3306	2721	585,0	6,9	4,6	4,7
2,0	33,0	3307	2724	582,5	9,4	4,7	
2,5	32,5	3307	2727	580,0	11,9	4,76	
3,0	32,0	3308	2731	577,5	14,4	4,8	
Середнє $\Delta H_a^{\text{зниж}}/\Delta p^{\text{втр}} = 4,7$							
Для параметрів гострої пари 24 бар/350°C							
0	24,0	3129	2712	591,9	—	—	7,2
0,5	23,5	3130	2714	589,6	3,4	6,8	
1,5	22,5	3132,3	2721	585,0	10,5	7,8	
2,0	22,0	3133,4	2724	582,5	14,2	7,1	
2,5	21,5	3134,5	2727	580,0	17,9	7,16	
3,0	21,0	3136,0	2731	577,5	21,8	7,27	
Середнє $\Delta H_a^{\text{зниж}}/\Delta p^{\text{втр}} = 7,2$							
Для параметрів гострої пари 15 бар/350°C							
0	15,0	3148	2771,6	376,4	0	—	13,0
0,5	14,5	3149	2778,8	370,2	5,8	11,6	
1,5	13,5	3151	2794,3	356,8	19,2	12,8	
2,0	13,0	3152	2802,5	349,6	26,4	13,2	
2,5	12,5	3153	2811,1	342,1	33,9	13,5	
3,0	12,0	3154	2820,1	334,1	42,3	14,1	
Середнє $\Delta H_a^{\text{зниж}}/\Delta p^{\text{втр}} = 13,0$							

Графічна інтерпретація отриманих результатів наведена на рис. 3.

dH_a/dp , (кДж/кг)/бар

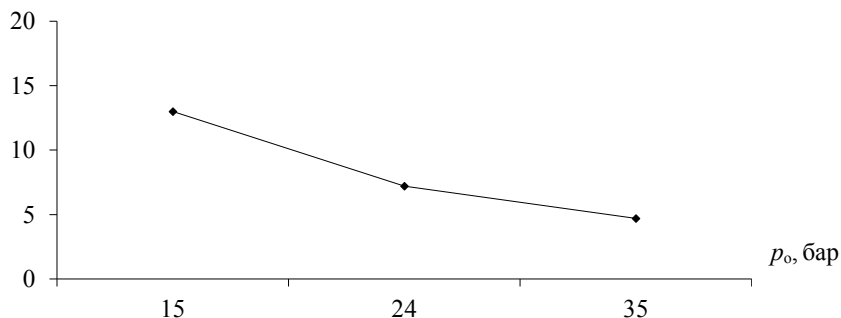


Рис. 3. Залежність градієнта dH_a/dp від тиску гострої пари — p_0 , турбоагрегатів з протитиском

За результатами дослідження встановлено, що чим нижчий тиск гострої пари в паровій турбіні, тим вище значення градієнта адиабатного теплоперепаду до втрати тиску в паропроводі, тобто тим суттєвіше зменшення теплоперепаду і тим значніше недовироблення електричної потужності, яку генерує турбоагрегат.

Опрацювання отриманих результатів дослідження дало змогу сформувати аналітичний вигляд емпіричної залежності $(\Delta H_a/dp) = f(p_0)$ у вигляді формули:

$$\Delta H_a/dp = 335,3 \cdot p_0^{-1,2}. \quad (19)$$

Виявлення функціональної залежності $(\Delta H_a/dp) = f(p_0)$ дає змогу, оскільки, за визначенням — $\Delta H_a^{\text{зниж}}/\Delta p^{\text{втр}} = (dH_a/dp)$, за наявності відомої гідравлічної втрати

тиску в транспортному паропроводі — $\Delta p^{\text{втр}}$, визначити числове значення очікуваного зменшення адіабатного теплоперепаду — $\Delta H_{\text{а}}^{\text{зниж}}$, за формулою:

$$\Delta H_{\text{а}}^{\text{зниж}} = \Delta p^{\text{втр}} \cdot (dH_{\text{а}}/dp). \quad (20)$$

А за умови відомого (заданого) зменшення адіабатного теплоперепаду — $(\Delta H_{\text{а}}^{\text{зниж}})_{\text{доп}}$, формула (16) дає змогу визначити числове значення гідравлічних втрат тиску в транспортному паропроводі — $\Delta p^{\text{втр}}$:

$$\Delta p^{\text{втр}} = (\Delta H_{\text{а}}^{\text{зниж}})_{\text{доп}} / (dH_{\text{а}}/dp). \quad (21)$$

Тому, замінивши у формулі (7) параметр $\Delta p^{\text{втр}}$ виразом (21), отримуємо розрахункову формулу для визначення мінімально допустимого внутрішнього діаметра $d_{\text{вн}}^{\text{мін.доп}}$, м, транспортного паропроводу до парової турбіни залежно від заданого допустимого зменшення адіабатного теплоперепаду:

$$d_{\text{вн}}^{\text{мін}} = 5 \sqrt{\frac{6,26 \cdot 10^{-7} \cdot \lambda_{\text{труб}} \cdot (L_{\text{труб}} + L_{\text{екв}}) \cdot G_{\text{пари}} \cdot (dH_{\text{а}}/dp)}{(\Delta H_{\text{а}}^{\text{зниж}})_{\text{доп}} \cdot \rho_{\text{пари}}}}, \quad (22)$$

де $(\Delta H_{\text{а}}^{\text{зниж}})_{\text{доп}}$ — експлуатаційно допустиме зниження адіабатного теплоперепаду в паровій турбіні турбоагрегату, кДж/кг; $(dH_{\text{а}}/dp)$ — градієнт адіабатного теплоперепаду гострої пари по втраті тиску в паропроводі, (кДж/кг)/бар.

Максимально допустима втрата тиску гострої пари в транспортному паропроводі — $\Delta p^{\text{втр.доп}}$, бар, визначається за формулою:

$$\Delta p^{\text{втр.макс.доп}} = (\Delta H_{\text{а}}^{\text{зниж}})_{\text{доп}} / (dH_{\text{а}}/dp). \quad (23)$$

Максимально допустима швидкість гострої пари транспортному паропроводі — $V_{\text{пари}}^{\text{макс.доп}}$, м/с, визначається за формулою:

$$V_{\text{пари}}^{\text{макс.доп}} = [2 \cdot 10^5 \cdot \Delta p^{\text{втр.доп}} \cdot d_{\text{вн}}^{\text{мін.доп}} / \lambda_{\text{труб}} \cdot (L_{\text{труб}} + L_{\text{екв}}) \cdot \rho_{\text{пари}}]^{0,5}. \quad (24)$$

Для прикладу, за умови транспортування до гострої, з температурою 350°C, пари з тиском 15,0 бар у кількості 34,3 т/год до парової турбіни типу Р-2,5-15/350, що має адіабатний тепло перепад — $H_{\text{а}}^{\text{ном}} = 376,4$ кДж/кг, за умов: $(\Delta H_{\text{а}}^{\text{зниж}})_{\text{доп}} = 4,0$ кДж/кг (1% від номінального), $L_{\text{труб}} = 80$ м, $L_{\text{екв}} = 175$ м, $\rho_{\text{пари}} = 5,2$ кг/м³, $\sum \xi_{\text{місц}} = 33$, $dH_{\text{а}}/dp = 13,0$ (кДж/кг)/бар, внутрішній діаметр транспортного паропроводу має бути діаметром 0,154 м:

$$d_{\text{вн}}^{\text{мін}} = [6,26 \cdot 10^{-7} \cdot 0,025 \cdot (80,0 + 175,0) \cdot 34,3 \cdot 13,0 / (4,0 \cdot 5,2)]^{0,2} = 0,154 \text{ м.}$$

Максимально допустима втрата тиску гострої пари в паропроводі — $\Delta p^{\text{втр.макс.доп}} = 4,0/13,0 = 0,31$ бар.

Максимально допустима швидкість гострої пари транспортному паропроводі — $V_{\text{пари}}^{\text{макс.доп}} = [2 \cdot 10^5 \cdot 0,31 \cdot 0,154 / (0,025 \cdot 250 \cdot 5,2)]^{0,5} = 17,1$ м/с.

Висновки

За результатами дослідження сформовано методику визначення належних діаметрів паропроводів, що транспортують насичену і перегріту водяну пару від джерел її генерації до споживачів. Застосування цієї методики гарантує додержання мінімально допустимих втрат тиску, які, у свою чергу, гарантують додержання двох галузевих норм — допустимого зниження температури конденсації (насичення) грійної пари в теплообмінних апаратах та адіабатного перепаду ентальпій гострої пари в парових турбінах з протитиском промислових турбоагрегатів.

Реалізація одержаної методики дає змогу, визначивши мінімально допустимий діаметр транспортного трубопроводу, що відповідає регламентному значенню допустимого зменшення температури конденсації грійної пари і допустимого зменшення адіабатного тепло перепаду, науково обґрунтовано визначити оптимальні техніко-економічні експлуатаційні параметри системи паропроводів промислового підприємства, що транспортують насичену і водяну пару.

Література

- Бігун, І. В. (2019). Особливості застосування напірних розподільних трубопроводів у різних технічних системах. *Theory and Building Practice*, 1(2), 14—19. <https://doi.org/10.23939/jtbp2019.02.014>.
- Герасимов, Г. Г. (2012). *Нагнітачі та теплові двигуни*. Рівне: НУВГП.
- Дорошенко, Я. В. (2020). *Наукові основи оцінювання енерговитратності та забезпечення працездатності складних трубопровідних систем*. Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Івано-Франківськ.
- Дубровська, В. В., Шкляр, В. І. (2016). *Термодинаміка та теплообмін*. К.: НТУУ «КПІ». Вид-во «Політехніка».
- Каложний, А. П., Зубричева, Л. Л., Кривенко, О. О. (2016). Економічне порівняння варіантів гідравлічного розрахунку мережі водовідведення. *Науковий вісник будівництва*, 1(83).
- Мисак, Й. С. (2007). Об'єкти теплових електричних станцій. Режим роботи та експлуатації. Львів: Видавництво Нац. ун-ту «Львівська політехніка».
- Наливайко, М., Філоненко, В. (2021). До проблеми визначення проектних діаметрів паропроводів, транспортуючих насичену і перегріту водяну пару *Матеріали конф. НУХТ*.
- Рогалевич, Ю. П. (2010). *Гідравліка*. К.: Вища школа.
- Світлий, Ю. Г., Білецький, В. Б. (2009). *Гідравлічний транспорт*. Монографія. Донецьк: Східний видавничий дім.
- Сидоренко, В. П., Яхно, О. Н. (2007). *Гідравліка і гідропровід*. Київ: Університет «Україна».
- Чернюк, В., Яхно, О., Гнатів, Р. (2016). *Напірні потоки зі змінними характеристиками*. Монографія. Львів: Вид-во Львівської політехніки.
- Чернюк, В. В. (2015). Методи гідравлічного розрахунку напірних розподільних трубопроводів. *Вісник Нац. ун-ту водн. госп та природокорист.*: Збірник наук. праць. Серія технічні науки, 3(71), 1.
- Bosak, N., Cherniuk, V., Matlai, I., Bihun, I. (2019). Studying the mutual interaction of hydraulic characteristics of water distributing pipelines and their spraying devices in the coolers at energy units. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(99), 23—29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.166309>.
- Cherniuk, V. V. (2008). Method of calculation of pressure of distributive pipeline. *Applied hydromechanics*, 10(82), 3, 65—76.
- Doroshenko, Y. V., Oliynyk, A. P., Karpash, O. M. (2020). Modeling of stress-strain state of piping systems with erosion and corrosion wear. *Physics and chemistry of solid state*, 21(1), 151—156. <https://doi.org/10.15330/pcss.21.1.151-156>.
- Trench, C. J., Miesner, T. O. (2006). *The Role of Energy Pipelines and Research in the United States*. USA: Pipeline Research Council International Inc.
- Liu, H. (2003). *Pipeline Engineering*. CRC Press: Lewis publishers.
- Lienhard, J-IV. (2019). *Heat Transfer Textbook*. 5-th edition. Mineola, New York.
- Mohitpour, M., Glover, A. and Trefanenko, B. (2001). Pipeline Report: Technology advances key worldwide developments. *Oil and Gas Journal*, 26, 26—27.
- Mohitpour, M. (2003). *Pipeline Design and Construction*. American Society of Mechanical Engineers.

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF SPRAYING LIQUID USING CFD-TECHNOLOGIES

A. Sliusenko, V. Ponomarenko, S. Blazhenko, Ya. Khitriy

National University of Food Technologies

Key words:

CFD-modeling

Spray nozzle

Nozzle

Hydrodynamics

Spray jet

Article history:

Received 08.03.2022

Received in revised form
17.03.2022

Accepted 13.04.2022

Corresponding author:

A. Sliusenko

E-mail:

andriy_slyusenko@

ukr.net

ABSTRACT

In gas-liquid systems, the intensification of mass or energy exchange processes is possible by creating a significant area of the contact surface of the phases and quickly updating it by spraying the liquid with hydraulic nozzles. When installing them in equipment, it is necessary to know the characteristics of the spray jet in order to ensure the most efficient operation.

Such data are obtained during the experimental study of injectors. However, when changing the sizes, their ratios, additional studies are required, which require the availability of experimental stands, appropriate equipment, which are expensive and require considerable time for their implementation and processing of the results.

The most powerful program for the study of fluid dynamics of flows is the ANSYS system with CFD-modules. It is possible to investigate the structure of flows in the mixing chamber of the nozzle, at the outlet of nozzle, to foresee the phenomenon of spraying and destruction of the liquid jet. The main criterion for obtaining reliable simulation results is the correct setting of all calculation software modules.

The aim of the work is to determine the characteristics of the spray jet in the nozzle using CFD technologies as a progressive, highly efficient and economically viable research method.

An algorithm for numerical simulation of the hydrodynamics of the fluid flow in the nozzle and the exit from its nozzle was developed. It consists of six stages.

Numerical values of velocity and volume fraction of liquid for the spray torch, obtained by CFD modeling, correlate with known experimental data. It is established that a zone of the low-pressure of about 165 Pa is created inside the torch of the sprayed liquid (maximum in the root zone, decreases to the periphery and at a distance from the nozzle). The low-pressure zone explains the ejection of the gas phase from the outside into the middle of the spray torch.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПИЛЕННЯ РІДИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ CFD-ТЕХНОЛОГІЙ

А. М. Слюсенко, В. В. Пономаренко, С. І. Блаженко, Я. С. Хитрий
Національний університет харчових технологій

У газорідинних системах інтенсифікація процесів обміну маси або енергії можлива при створенні значної площі поверхні контакту фаз і швидкому її оновленню шляхом розпилення рідини гідравлічними форсунками. При встановленні їх в обладнання потрібно знати характеристики факела розпилення, що дає змогу забезпечити найбільш ефективну роботу.

Такі дані отримують при експериментальному дослідженні форсунок, однак при зміні розмірів, їх співвідношень потрібні додаткові дослідження, які вимагають наявності експериментальних стендів, відповідного обладнання, є дорогими та потребують значного часу на їх проведення й обробку результатів.

Найпотужнішою програмою для дослідження гідродинаміки потоків є система ANSYS з CFD модулями, завдяки якій можна дослідити структуру потоків у камері змішування форсунки, на виході з її сопла, передбачити явище розпилення та руйнування струменя рідини. Основним критерієм отримання достовірних результатів моделювання є коректне налаштування всіх розрахункових модулів програмного забезпечення.

У статті визначено характеристики факела розпилення потоку у форсунці з використання CFD-технологій як прогресивного, високоефективного та економічно доцільного методу досліджень. Розроблено алгоритм проведення числового моделювання гідродинаміки потоку рідини у форсунці та на виході з її сопла, що складається із шести етапів.

Отримані CFD-моделюванням числові значення розподілення швидкості та об'ємної частки рідини для факела розпилення корелюють з відомими експериментальними даними. Встановлено, що всередині факела створюється розрідження порядку 165 Па, причому воно максимальне у прикореневій зоні, знижується до периферії і при віддаленні від сопла. Зона пониженого тиску пояснює ежектування газової фази ззовні всередину факела розпилення.

Ключові слова: CFD-моделювання, форсунка, сопло, гідродинаміка, факел розпилення.

Постановка проблеми. Розпилення рідин широко використовують у різних технічних пристроях як надзвичайно простий та ефективний метод прискорення перебігу тепло- і масообмінних процесів у газорідинних системах завдяки створенню значної площі поверхні контакту фаз, швидкому її оновленню.

З відомих способів розпилення найбільше використовують гідравлічний спосіб, що пояснюється низькими енерговитратами, високою надійністю роботи гідравлічних форсунок (розпилювачів), простотою їх конструкції, можливістю отримання дрібнодисперсних крапель. Основні типи гідравлічних форсунок: струминні, відцентрові, відцентрово-струминні.

Вибір того чи іншого типу розпилювача залежить від завдань, які розв'язують у конкретному обладнанні. Найбільш поширені відцентрово-струминні форсунок, в яких на виході із сопла утворюється факел розпилення з рівномірним розподілом крапель рідини, що дає змогу використовувати реакційний об'єм апарата з максимальною ефективністю. Такі форсунок застосовують для диспергування рідин у розпилювальних абсорберах під час перебігу тепло- і масообмінних процесів, спалювання рідкого палива в печах тощо.

Тривалий час єдиним способом оцінювання відповідності характеристик форсунок було виконання фізичних експериментів. Недоліки натурних досліджень розпилювачів (наявність відповідних дослідних стендів, оснащених точними приладами контролю й регулювання, довготривалість досліджень і оброблення результатів тощо) не гарантують масштабування лабораторних зразків до промислових. У разі зміни розмірів, їхніх співвідношень змінюватимуться і характеристики факела розпилення, що потребує додаткових досліджень для встановлення закономірностей роботи розпилювачів.

З розвитком методів чисельного моделювання та появою великої кількості прикладних програм, що ґрунтуються на математичному описі механізму розпадання струменя рідини на краплі (CFD — computational fluid dynamics), можливо виконати розрахунки витратних характеристик розпилювачів уже на етапі проектування та мати достовірні характеристики факела розпилення (дальність польоту краплі, кут розпилення, щільність зрошення), а також скоригувати розміри форсунок, що надає можливість забезпечити ефективну роботу обладнання, в якому їх встановлено.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Гідравлічні розпилювачі широко використовують як окреме обладнання або як основний його елемент для забезпечення інтенсивного перебігу процесів тепло- і масоперенесення. Важливий напрям застосування розпилювачів — використання їх у реактивних двигунах і двигунах внутрішнього згоряння. Такі форсунок характеризуються незначними витратами та є найбільш дослідженими. В обладнанні хімічної та харчової промисловості гідравлічні форсунок використовують для розпилення великих обсягів технологічних неочищених рідин. Дослідженню таких форсунок приділено значно менше уваги.

Завдяки комп'ютерному моделюванню можна визначити характеристики факела розпилення рідини форсунок, які планується використати в обладнанні.

У (Ма та ін., 2016) розглянуто характеристики розпилення рідини з форсунок за низьких чисел Вебера. На основі проведеного чисельного моделювання встановлено, що потік рідини збігається з лагранжевою структурою частинок. Проте моделювання передбачає більш ранній розпад струменя рідини порівняно з експериментом.

Є. Тумановою здійснено дослідження гідродинаміки потоку в камері закручування відцентрово-струминної форсунок з центральним і тангенціальним підведенням рідини за допомогою програми FlowVision. Встановлено розподіл швидкості й тиску рідин у камері закручування і по радіусу сопла. На основі розрахунку траєкторії руху крапель з урахуванням зміни сили опору, яка діє на краплі зі сторони газового потоку, визначено щільність зрошення. При цьому розпад по-

току на виході із сопла не розглядався. Це пояснюється тим, що числовий розрахунок у такому програмному комплексі не дає змогу моделювати факел розпиленої рідини та оцінювати його дисперсність, оскільки в програмі не закладене врахування сили поверхневого натягу рідини та її взаємодії з навколишнім середовищем.

У (Montazeri, Blocken & Hensen, 2014; Dinc, Gray, Hillen, Taylor & Kuhlman, 2013) досліджується процес розпилення рідини без урахування геометрії форсунки. При цьому в розрахунковій області створюють певну точку та вказують, що саме з неї відбувається розпилення (точкове підведення енергії), а також задають тип і кут розпилення рідини, розмір крапель. На наш погляд, ці дослідження не враховують гідродинамічні явища в камері закручування форсунки, які значно впливають на параметри розпилення.

При дослідженні дисперсності розпиленої рідини (Zhao & Yang, 2012) використано модель дискретної фази (Discrete Phase Model, скорочено DPM). При налаштуванні параметрів цієї моделі задають мінімальний, максимальний і середній розмір крапель рідини. При цьому задається, що вже на виході із сопла форсунки рухаються краплі, а не суцільний потік. Однак при цьому не враховують первинний розпад струменя рідини, тобто перехід від моделі об'єму рідини до моделі дискретної фази (у програмі, в якій виконують дослідження, цей перехід називають Volume of Fluid to Discrete Phase Model, скорочено VOF to DPM).

У (Haq, Latif, Shafi & Javaid, 2018) використано гібридну модель багатофазної течії «VOF to DPM», яка комбінує дві моделі течії рідини: в рамках моделі VOF розраховують течію з вільною межею, а модель DPM підключають на другому етапі розрахунку, додаючи дискретні частинки в початкову постановку Ейлера. У межах одного розрахунку моделюють як первинний розпад потоку, так і подальший розпад крапель, процеси випаровування, фізичні та хімічні реакції. Результатом цієї роботи є найбільш повний опис процесу розпилення, але для виконання досліджень потрібні обчислювальні машини з високими технічними характеристиками.

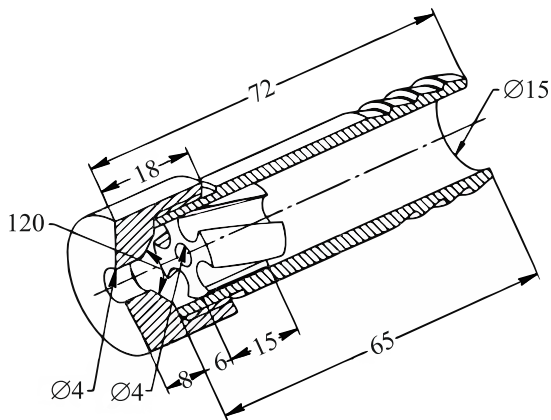
Потрібно зазначити, що, незважаючи на прогрес, якого досягнуто у розвитку методів CFD протягом останніх років, точне моделювання процесу розпилення рідини залишається надзвичайно складним завданням, що зумовлено великою кількістю таких взаємопов'язаних явищ і механізмів, як первинний і вторинний розпад краплі, взаємодія крапель між собою, їх деформація, аеродинамічна сила, теплопередача, випаровування, поверхневий натяг рідини та її в'язкість (Helldorff & Micklow, 2019; Fung, Inthavong, Yang & Tu, 2012; Li & Soteriou, 2018). Для врахування цих факторів необхідно створити якісну розрахункову сітку, вибрати розрахункові моделі, коректно задати початкові і граничні умови та параметри розрахунку.

Мета дослідження: визначення характеристик факела розпилення потоку у форсунці при проведенні імітаційного моделювання з використанням CFD-технологій.

Матеріали і методи. Проведення чисельного моделювання процесу розпилення за допомогою CFD-технологій складається із шести етапів:

- створення геометричної моделі форсунки та середовища;

- Для чисельного моделювання обрано відцентрово-струминну форсунку з профільованою вставкою (рис. 1).



На другому етапі досліджень твердотісну тривимірну модель було розділено на розрахункову сітку (рис. 2) з комірок тетраїдальної форми. Дрібні комірки розміщені в області з високою концентрацією рідини, де виникнуть найбільші градієнти перенесення кількості руху та маси. Комірки більшого розміру розміщені поблизу зовнішніх стінок зони витоку рідини.

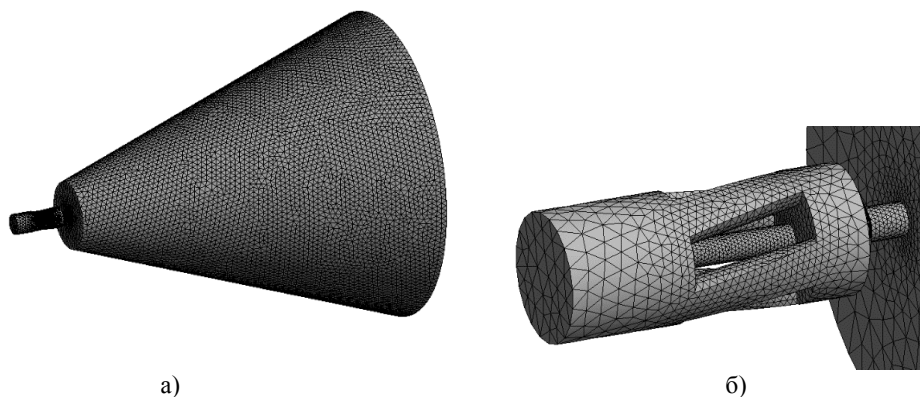


Рис. 2. Розрахункова сітка моделі:
а) — розрахункова область; б) — форсунка (збільшено)

Наступним кроком моделювання є встановлення параметрів матеріалів, початкових і граничних умов з подальшим налаштуванням параметрів розрахунку.

На цьому етапі досліджень виконано такі дії:

1. З бази даних завантажено параметри матеріалів (повітря та вода), які є робочим середовищем, та взято в розрахунок. Параметри навколишнього середовища в процесі розрахунку не змінювались — тиск атмосферний 101325 Па, температура 25°C, що відповідало умовам виконання експерименту.

2. Враховано прискорення вільного падіння.

3. Для замикання рівнянь Нав'є-Стокса, що описують рух в'язкої нестисливої рідини, прийнято модель турбулентності $k-\epsilon$, яка забезпечує раціональне поєднання точності результатів розрахунку, його тривалість і вимоги до розрахункової сітки. У моделі $k-\epsilon$ використовується гіпотеза дифузії градієнта параметрів для того, щоб зв'язати напруження Рейнольдса з середньою швидкістю й турбулентною в'язкістю.

4. Обрано тип задачі — нестационарна «Transient». Встановлено тривалість розрахунку «Total Time» 0,5 с та часовий крок «Timesteps», який дорівнює 0,001 с.

Оскільки передбачається передача маси та енергії між середовищами, то для розрахунку взято багатозфазну модель Ейлера «Mixture», в якій фази розглядають як взаємопроникні континууми. За цього методу для визначення положення міжфазної межі використовують розподіл маркет-функції $C = f(x, y, z, t)$, яка є об'ємною часткою рідини в комірках розрахункової сітки: за умови $C = 1$ — комірка заповнена рідиною, за умови $C = 0$ — комірка порожня. Міжфазній межі відповідає ізоповерхня, де $C = 0,5$. Динаміку величини C описують рівнянням конвективного перенесення:

$$\frac{dC}{dt} \equiv \frac{\partial C}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla C = 0, \quad (1)$$

де $\mathbf{v}$ — швидкість середовища, м/с.

Рівняння збереження маси та кількості руху для системи рідина-газ розв'язують «наскрізь», як для одного середовища зі змінними властивостями матеріалів, які виражені через об'ємну частку рідини C .

5. Призначено кожній поверхні тривимірної моделі відповідні граничні умови. Це вхід рідини у форсунку (Inlet), стінка (Wall), яка являє, по суті, тіло форсунки та вихід рідини в умовно безмежний простір (Opening).

Для граничної умови Inlet задається значення масової витрати рідини (для прикладу розрахунку задано масову витрату 0,2 кг/с); об'ємна частка (Volume Fraction) води — 1, а повітря — 0. Враховуючи рекомендації з літературних джерел, прийнято такі параметри моделі турбулентності (кінетична енергія турбулентності k та швидкість дисипації кінетичної енергії ϵ): $k = 0,05\%$, $\epsilon = 10\%$. При спробі задати вхід води у форсунку через тиск розв'язок неможливий, оскільки програма зупиняється через критичну помилку, що можна пояснити відсутністю відповідних рівнянь перерахунку в цій моделі.

Для граничної умови «Opening» задано тип умови «Opening», яке означає, що вихід потоку рідини з сопла відбувається в атмосферу. В початковий момент часу в цій зоні знаходиться лише повітря, тому його значення «Volume Fraction» 1, а «Volume Fraction» для води в цій зоні — 0.

Для граничної умови «Wall» прийнято стандартні пристінкові функції.

На панелі «Solver» здійснюється додаткове налаштування параметрів розрахунків, зокрема підключено проведення розрахунку з подвійною точністю. Критерій збіжності результатів задано рівним 0,0001.

Після налаштування всіх необхідних параметрів проводиться розрахунок.

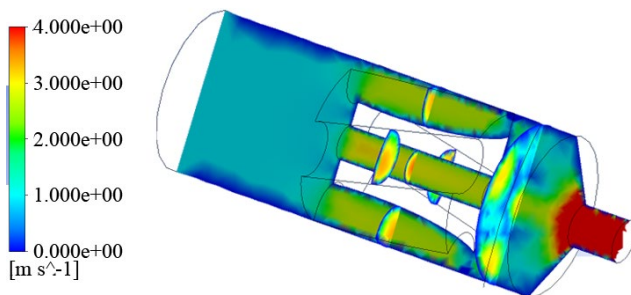
Викладення основних результатів дослідження. Обробка результатів розрахунку (масив даних із сіткової моделі, в якій для кожної комірки знайдені параметри потоку) дає змогу детально дослідити гідродинаміку рідини у форсунці та характеристики факела розпилення.

На рис. 3 показано розподілення швидкості рідини у форсунці при тиску рідини $P = 0,25$ МПа у вигляді контурного зображення (рис. 3, а) та графіка (рис. 3, б). Для точного визначення швидкості води у форсунці верхню межу шкали розподілу значень зменшено до 4 м/с (рис. 3, а).

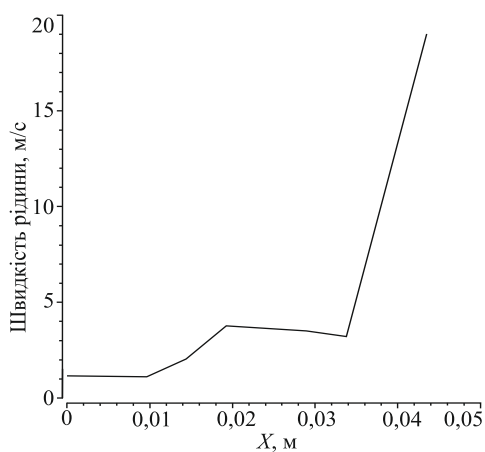
Аналіз приведених результатів показує, що рідина входить у форсунку (рис. 3, б) зі швидкістю 1,2 м/с, у гвинтових каналах профільованої вставки та осьовому отворі швидкість зростає до 3—3,5 м/с. У камері закручування форсунки вона знижується до 1,5—2,5 м/с, що пояснюється збільшенням площі поперечного перерізу. Максимальна швидкість 19,3 м/с досягається у соплі форсунки.

Важливим результатом досліджень є знайдене розподілення швидкості рідини по радіусу Z сопла (на його виході), яке представлено на рис. 4.

Визначити швидкість експериментально досить складно, оскільки в соплі відцентрово-струминної форсунки рідина має як обертальний, так і осьовий рух. Характер розподілення швидкості відповідає турбулентному руху рідини у вигляді параболічного профілю по поперечному перерізі.



а)



б)

Рис. 3. Розподілення швидкості рідини у відцентрово-струминній форсунці:
а) контурне зображення швидкості рідини; б) графік зміни швидкості рідини по осі форсунки X

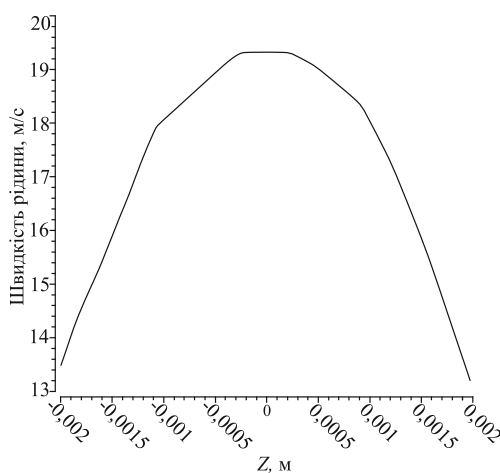
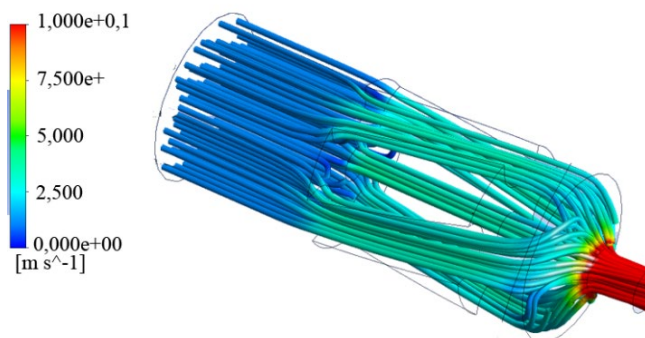


Рис. 4. Розподілення швидкості рідини по радіусу Z сопла (на його виході)

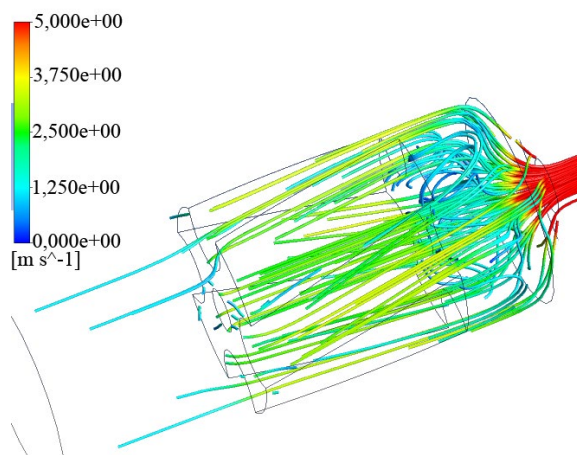
Картина течії рідини у відцентрово-струминній форсунці доповнена тривимірною візуалізацією ліній току (рис. 5):

- лінії току рідини у форсунці в діапазоні швидкостей 0—10 м/с (рис. 5, а);
- лінії току рідини в камері закручування в діапазоні швидкостей 0—5 м/с (рис. 5, б).

Аналіз приведених результатів показує, що рідина у гвинтових каналах вставки має тангенційну складову швидкості 3,5 м/с, а в центральному отворі вставки має осьову швидкість 3 м/с. Аналіз ліній току в камері закручування (рис. 5, б) показує взаємодію між двома потоками та формування єдиного у соплі.



а)



б)

Рис. 5. Лінії току рідини:

а) лінії току рідини у форсунці; б) лінії току рідини в камері закручування

При виході із сопла форсунки потік на невеликій відстані від нього розпадається на краплі та формує факел розпилення.

На рис. 6 представлено розподілення об'ємної частки (концентрації) рідини в розрахунковій області. Кут факела розпилення при заданих розмірах форсунки становить 26°.

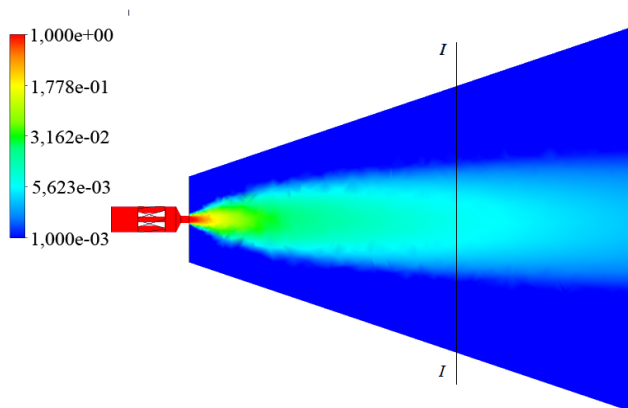
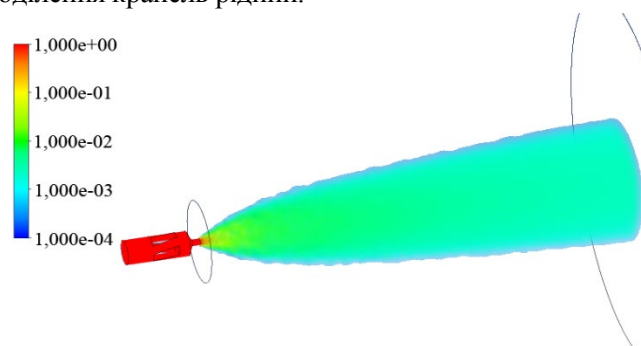
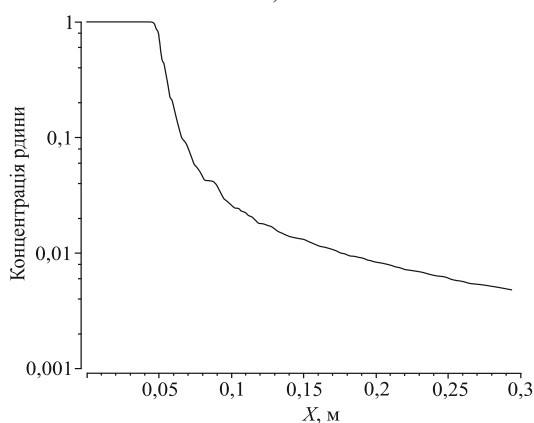


Рис. 6. Розподілення об'ємної частки рідини в розрахунковій області

Проаналізуємо більш детально розподілення об'ємної частки рідини в факелі розпилення (рис. 7). На відстані понад 0,15 м від зрізу сопла (0,2 м на рис. 7, б) зміна концентрації рідини по довжині факела є незначною, що свідчить про рівномірне розподілення крапель рідини.



а)



б)

Рис. 7. Розподілення об'ємної частки рідини у факелі розпилення:
а) тривимірне зображення; б) графік залежності концентрації рідини від довжини факела розпилення (по осі факела)

На рис. 8 приведено розподілення об'ємної частки рідини в поперечному перерізі факела розпилення на відстані 0,05 м, 0,1 м та 0,2 м від зрізу сопла, що дає змогу визначити щільність зрошення. При віддаленні від сопла спостерігається вирівнювання концентрації.

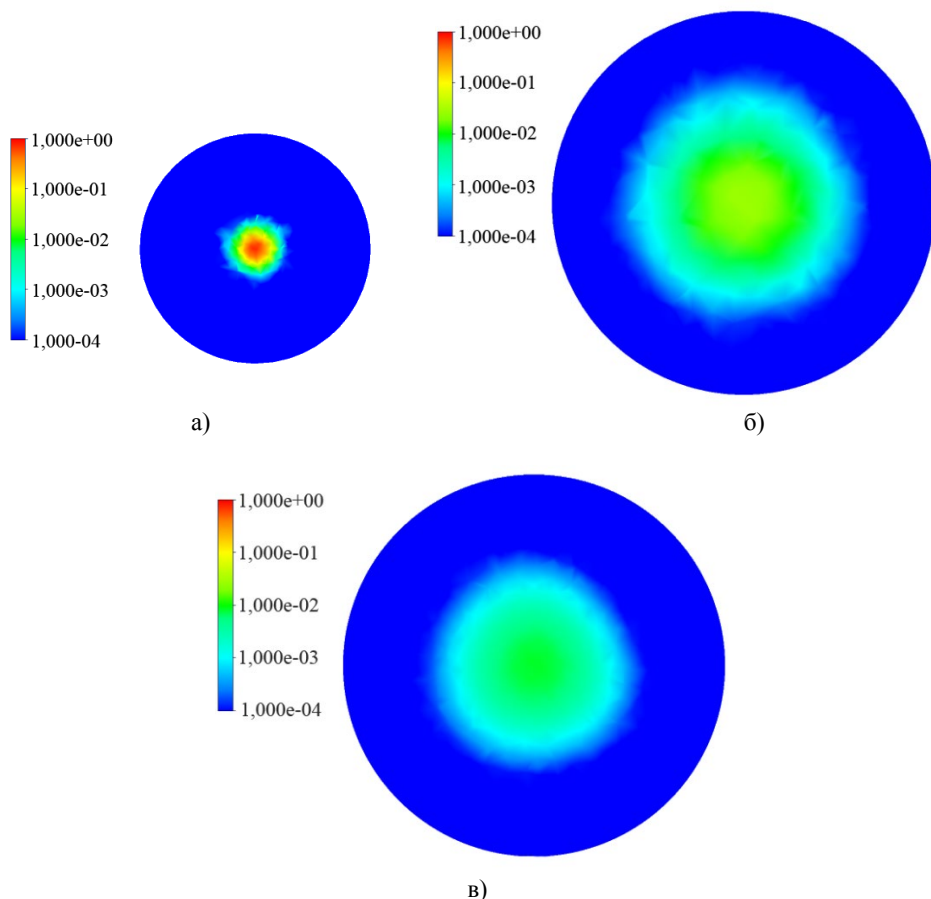
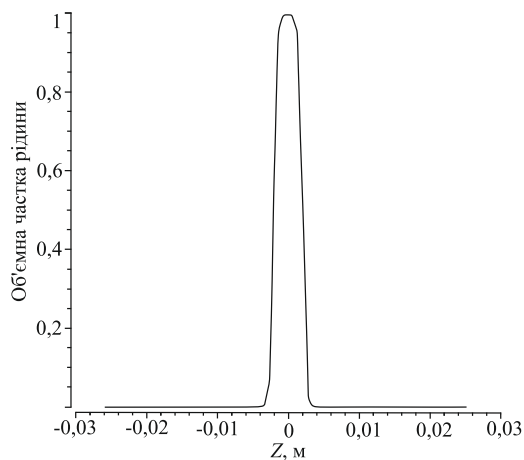


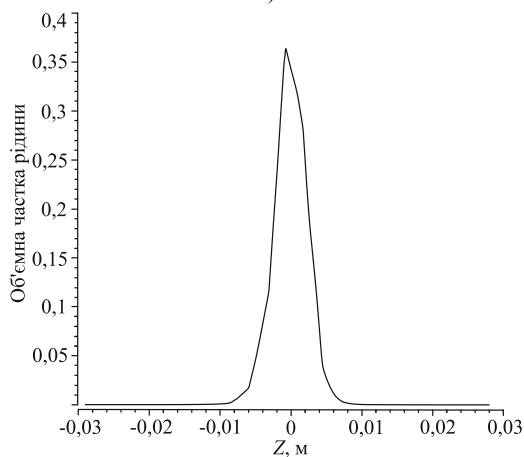
Рис. 8. Розподілення об'ємної частки рідини в поперечному перерізі факела розпилення на різній відстані від зрізу сопла:
а) 0,05 м; б) 0,1 м; в) 0,2 м

Результати моделювання у вигляді графіків залежності об'ємної частки рідини від радіуса Z факела розпилення на різній відстані від зрізу сопла представлені на рис. 9.

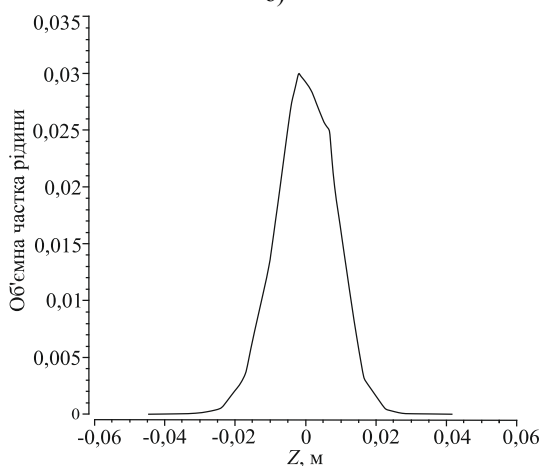
На рис. 10 приведено контурну заливку зі швидкості крапель рідини у факелі розпилення форсунки. Проведений аналіз результатів показав, що основна маса крапель рідини рухається в супутньому потоці в центральній частині факелу зі швидкістю біля 15 м/с. По периферії факела в результаті взаємодії з повітрям швидкість крапель знижується до 13—14 м/с.



а)



б)



в)

Рис. 9. Залежність об'ємної частки рідини від радіуса Z факела розпилення на різних відстані від зрізу сопла: а) 0,002 м; б) 0,02 м; в) 0,05 м

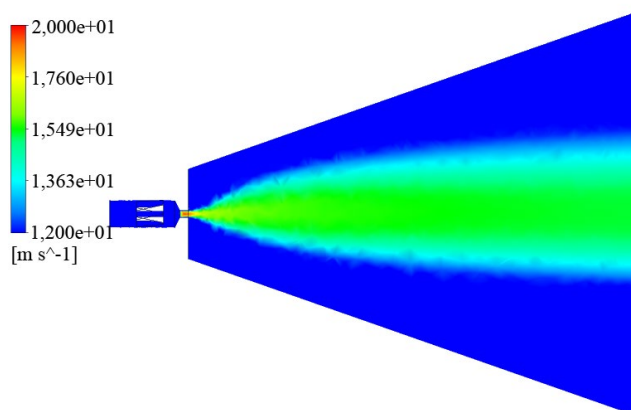
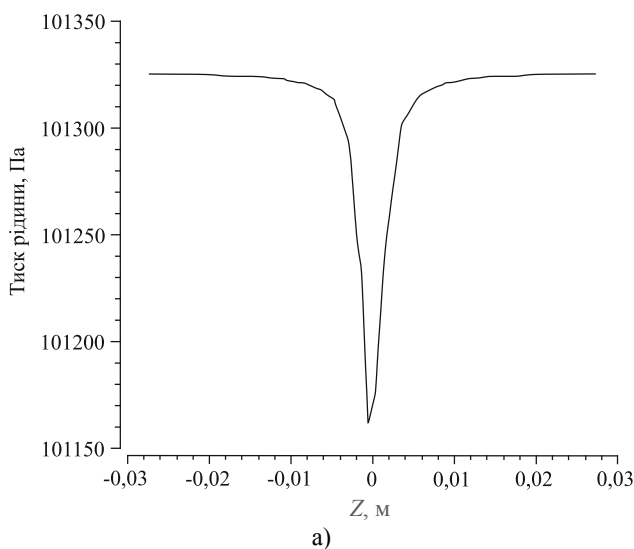
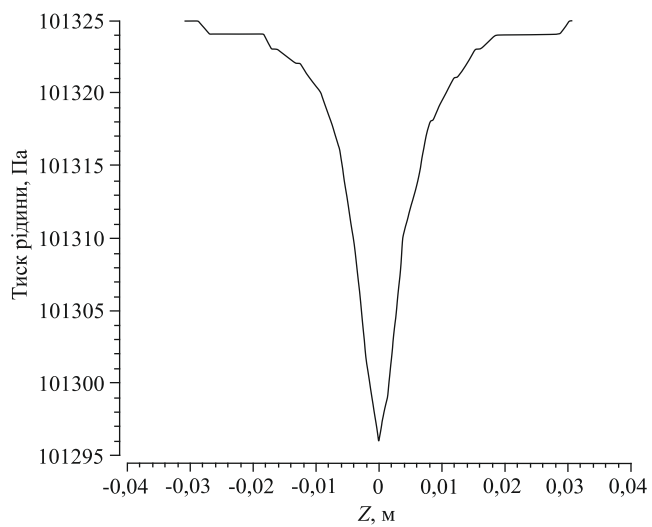


Рис. 10. Контурна заливка зі швидкості рідини у факелі розпилення форсунки

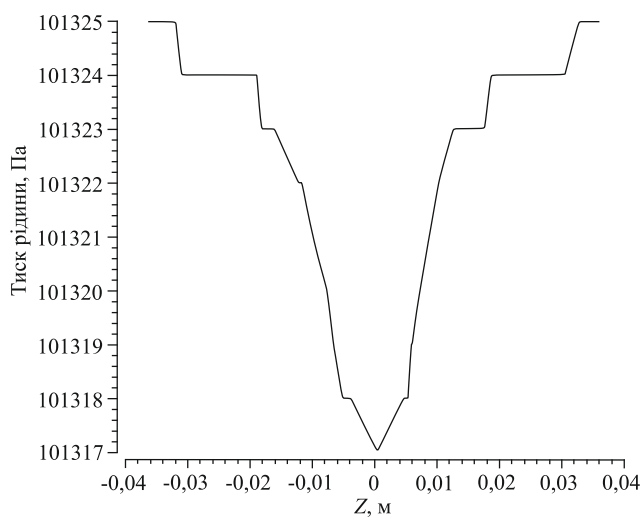
На рис. 11 представлено графіки залежності тиску у факелі розпилення від його радіуса Z на різній відстані від зрізу сопла. На відстані 0,005 м від зрізу сопла (рис. 11, а) в прикореневій зоні факела розпилення досягається максимальне розрідження 165 Па, яке на границі факела зростає до атмосферного.

При віддаленні від сопла в осьовому напрямку розрідження в середині факела розпилення знижується. Так, на відстані від зрізу сопла 0,015 м (рис. 11, б) максимальне розрідження становить 29 Па, на відстані 0,025 м — 8 Па (рис. 11, в), а на відстані 0,04 м — 5 Па (рис. 11, г). При подальшому віддаленні від зрізу сопла розрідження в факелі розпилення знижується до 2 Па, і на відстані понад 0,15 м зникає. Розрідження в центральній зоні факела розпилення викликає ежекцію повітря із зовнішньої області, де тиск вищий.

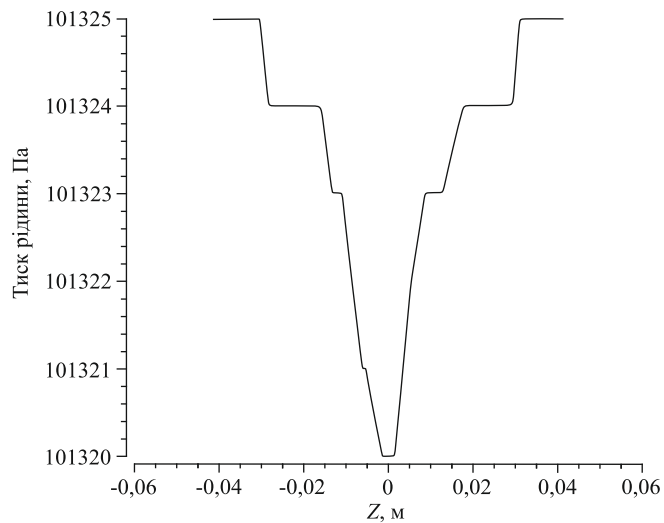




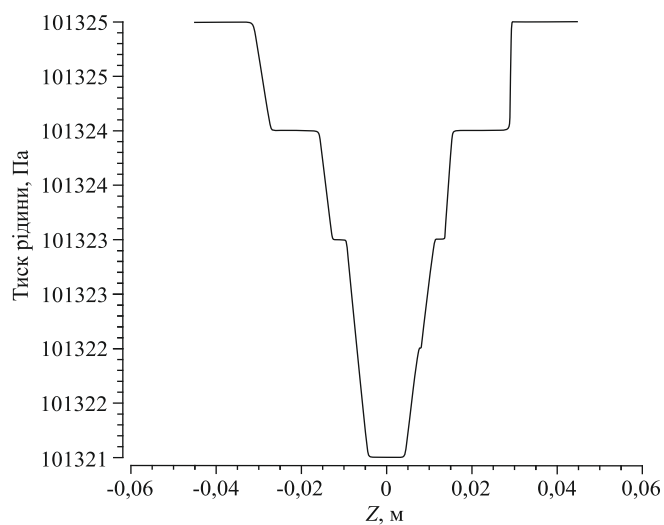
б)



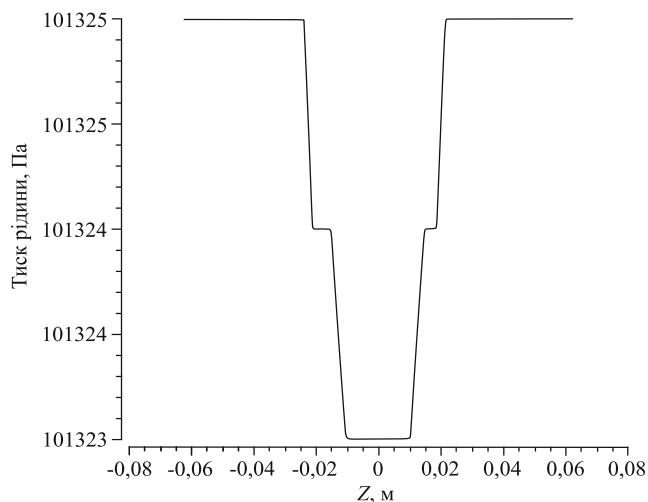
в)



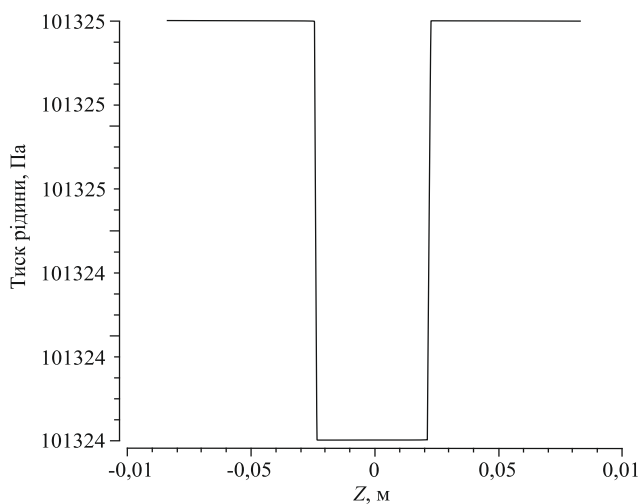
г)



д)



е)



е)

Рис. 11. Залежність тиску у факелі розпилення від його радіуса Z на різній відстані від зрізу сопла:

а) 0,005 м; б) 0,015 м; в) 0,025 м; г) 0,040 м; д) 0,05 м; е) 0,1 м; є) 0,15 м

Комп'ютерне моделювання роботи відцентрово-струминної форсунки вперше підтвердило той факт, що по осі факела розпилення рідини виникає розрідження, яке пояснює ежектування газової фази всередину. Причому його величина змінюється по довжині факела. Експериментально наявність розрідження

було виявлено лише на початку 2000-х років М. М. Сімаковим при дослідженні факела розпилення відцентрово-струминної форсунки з діаметром сопла 0,002 м.

Отже, за допомогою сучасного програмного забезпечення можна здійснити детальний аналіз гідродинаміки рідини у форсунці та визначити характеристики розподілу і форми факела розпилення.

Висновки

1. Розроблено методику (алгоритм) проведення числового моделювання гідродинаміки потоку рідини у форсунці та на виході з її сопла у програмному комплексі ANSYS CFD.

2. Проведено числове моделювання гідродинаміки рідини у форсунці і факела розпилення та отримані фізико-динамічні параметри процесу: основні зміни у факелі розпилення відбуваються на відстані до 0,15 м від зрізу сопла.

3. Контури швидкості та об'ємної частки рідини, отримані чисельними методами, корелюють з відомими експериментальними даними, що підтверджує коректність створеної моделі в ANSYS для проведення гідродинамічних досліджень у пристроях цього типу.

4. Вперше шляхом проведення комп'ютерного моделювання виявлено наявність розрідження у факелі розпилення, яке максимальне у прикореневій зоні факела (165 Па на відстані від зрізу сопла 0,005 м), знижується до його периферії і при віддаленні від зрізу сопла.

5. Наступним етапом досліджень буде визначення дисперсних характеристик рідини у факелі розпилення.

Література

Dinc, M., Gray, D., Hillen, N., Taylor J., Kuhlman J. (2013). *Spray Simulations to Support the Development of a Monte Carlo-Based Spray Cooling Model*, Materials of 43rd Fluid Dynamics Conference. San Diego: American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/10.2514/6.2013-2975>.

Fung, M., Inthavong, K., Yang, W., Tu, J. (2012). CFD Modeling of Spray Atomization for a Nasal Spray Device. *Aerosol Science and Technology*, 46(11), 1219—1226. <https://doi.org/10.1080/02786826.2012.704098>.

Haq, M., Latif, R., Shafi, I., Javaid, A. (2018). *Modelling Primary Atomization and its effects on spray Characteristics under Heavy Duty Diesel Engine Condition*, Materials of 21st Australasian Fluid Mechanics Conference. Australia: Adelaide. https://people.eng.unimelb.edu.au/imarusic/proceedings/21/Contribution_702_final.pdf.

Helldorff, H., Micklow, G. (2019). Primary and Secondary Spray Breakup Modelling for Internal Combustion Engine Applications. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, 6(4), 9882—9894. <http://www.jmest.org/wp-content/uploads/JMESTN42352901.pdf>.

Li, X., Soteriou, C. (2018). Detailed Numerical Simulation of Liquid Jet Atomization in Crossflow of Increasing Density. *International Journal of Multiphase Flow*, 104, 214—232. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2018.02.016>.

Ma, P., Esclapezy, L., Carbajal, S., Ihme, M., Buschhagen, T., Naik, S. ... Lucht, R. (2016). *High-Fidelity Simulations of Fuel Injection and Atomization of a Hybrid Air-Blast Atomizer*, Materials of 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting. San Diego: American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/10.2514/6.2016-1393>.

Montazeri, H., Blocken, B., Hensen, J. (2014). Evaporative cooling by water spray systems: CFD simulation, experimental validation and sensitivity analysis. *Building and Environment*, 83, 129—141. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.022>.

Zhao, J., Yang, L. (2012). Simulation and Experimental Study on the Atomization Character of the Pressure-Swirl Nozzle. *Open Journal of Fluid Dynamics*, 2(4), 271—277. <https://doi.org/10.4236/ojfd.2012.24A032>.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF CHIA SEEDS ON THE QUALITY INDICATORS OF BUTTERY COOKIES WITH SUGAR AND FRUCTOSE

V. Dorohovych, L. Mykhalska

National University of Food Technologies

Keywords:

Buttery cookies
Chia seeds
Sugar
Fructose
Dough

Article history:

Received 11.03.2022
Received in revised form
24.03.2022
Accepted 18.04.2022

Corresponding author:

V. Dorohovych

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Nowadays attention is paid to the enrichment of food products with vitamins, minerals and fiber. Valuable nutritional composition of chia seeds determines the feasibility of its use in the technology of butter cookies. To reduce the glycemic load on the human body, it is advisable to change white sugar on fructose, which has a lower glycemic index.

It is established that the rational dosage of chia seeds in butter cookies with sugar and fructose is 20% by weight of flour. Cookies have good sensory characteristics. It is determined that chia seeds cause a certain (by 10%) increase in the shear stress. This may be due to the fact that chia seeds are a solid fraction. However, this will not complicate the kneading of the dough and the formation of cookies. The density of the dough with chia seeds is not almost different from the control sample.

The loss of mass of dough pieces of cookies with chia seeds during heat treatment is less, which can be explained by the high water absorption capacity of chia seeds. It was found that the duration of baking and drying cookies with fructose and chia seeds is less than the control sample by 5%.

Wetness and strength of freshly made cookies with white sugar and fructose are slightly different from the control sample. The shear stress of cookies with sugar and chia seeds is higher, with fructose — is less than control sample. This correlates with the moisture of the cookies. After 1 month of storage, cookies with fructose had higher moisture and, accordingly, less wetness and strength. This determines the feasibility of packaging into moisture-proof materials.

The amount of vitamins (tocopherol, thiamine, riboflavin, niacin) and minerals (calcium, phosphorus, magnesium, zinc) was calculated. Cookies with chia seeds, white sugar and fructose can be classified as functional foods by the amount of tocopherol, phosphorus, magnesium.

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ НАСІННЯ ЧІА НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ЗДОБНОГО ПЕЧИВА НА ЦУКРІ І ФРУКТОЗІ

В. В. Дорохович, Л. В. Михальська

Національний університет харчових технологій

Натепер усе більше уваги приділяється збагаченню харчових продуктів вітамінами, мінеральними речовинами, харчовими волокнами тощо. Цінний нутрієнтний склад насіння чіа обумовлює доцільність його застосування в технології здобного печива. Для зменшення глікемічного навантаження на організм людини доцільно замінити цукор білий на фруктозу, яка має менший глікемічний індекс.

Встановлено, що раціональне дозування насіння чіа в здобному печиві на цукрі і фруктозі складає 20% до маси борошна. За такого дозування печиво має гарні органолептичні показники. Визначено, що насіння чіа спричиняє певне (на 10%) збільшення граничної напруги зсуву. Це може бути пов'язано з тим, що насіння чіа є твердою фракцією. Однак це не буде ускладнювати замішування тіста та формування виробів. Густина тіста з насінням чіа майже не відрізняється від контрольного зразка.

Втрати маси тістових заготовок печива з насінням чіа під час термооброблення менші, що можна пояснити великою водопоглинальною здатністю насіння чіа. Встановлено, що тривалість випікання-сушіння печива на фруктозі з насінням чіа менша за контрольний зразок на 5%.

Намокаємість, міцність свіжовиготовленого печива на цукрі білому та фруктозі незначно відрізняються від контрольного зразка. Питомий об'єм печива на цукрі з насінням чіа більший, на фруктозі — менший за контроль. Це корелює з вологістю печива. Після одного місяця зберігання печиво на фруктозі має більшу вологість і, відповідно, меншу намокаємість і міцність. Це обумовлює доцільність упаковки в вологонепроникні матеріали.

Розраховано кількість вітамінів (токоферол, тіамін, рибофлавін, ніацин) і мінеральних речовин (кальцій, фосфор, магній, цинк). За кількістю токоферолу, фосфору, магнію печиво з насінням чіа на цукрі білому та фруктозі можна віднести до функціональних харчових продуктів.

Ключові слова: здобне печиво, насіння чіа, цукор, фруктоза, тісто.

Постановка проблеми. Сучасна людина споживає велику кількість продуктів, у яких під час технологічної обробки та/або виготовлення було вилучено корисні речовини. Це обумовлює доцільність внесення до рецептурного складу харчових продуктів сировинних компонентів, добавок, які сприятимуть збільшенню кількості вітамінів, мінеральних речовин, харчових волокон та інших фізіологічно-функціональних інгредієнтів. Це стосується і борошняних кондитерських виробів, зокрема здобного печива. Здобне печиво є досить популярним у населення України. Однак це печиво має високу калорійність і містить мало віта-

мінів, мінеральних речовин, харчових волокон тощо. Тобто існує розбалансованість між кількістю калорій, що отримує людина, і кількістю життєво необхідних речовин: вітаміни, мінеральні речовини, харчові волокна тощо. Це обумовлює доцільність пошуку сировинних компонентів, добавок, які сприятимуть покращенню нутрієнтного складу здобного печива.

Коли розглядається структура харчування, досить часто звертається увага на інтенсивність глікемічного навантаження при споживанні тих чи інших харчових продуктів. Рекомендовано споживати продукти з меншим глікемічним індексом. Це актуально не тільки для хворих на цукровий діабет, а й для осіб, що не мають цього захворювання.

У разі розроблення кондитерських виробів для хворих на цукровий діабет потрібно застосовувати низькоглікемічні цукри та цукрозамінники. Серед розповсюджених інгредієнтів, що застосовують у продуктах дієтичного призначення для хворих на цукровий діабет є фруктоза, яка має високий ступінь солодкості $\sim 1,5$ SES, гарну розчинність, відносно невеликий глікемічний індекс (20%), калорійність аналогічна цукру білому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зараз дуже популярним продуктом є насіння чіа. Корисні для здоров'я властивості насіння обумовлюються його складом, який представлений такими елементами: клітковина, антиоксиданти, кислоти Omega-3 і Omega-6, вітаміни та мінеральні речовини. Завдяки великому вмісту високоактивних природних антиоксидантів, таких як кофеїнова та хлорогенова кислоти, флавоноли тощо, жирні кислоти насіння чіа має велику стійкість і не окислюється навіть при тривалому зберіганні (Насіння чіа. Ел. ресурс). Це є актуальним для виробів, що містять у своєму складі значну кількість жиру і підлягають термообробленню.

Насіння містить від 34 до 40 г харчових волокон на 100 г, що еквівалентно 100% денної норми дорослої людини. Визначено, що 100 г насіння чіа задовольняє добову потребу організму людини в калії на 21%, кальції — на 59,4%, залізі — на 47,3%, цинку — на 38,3%, магнії — на 74,1%, фосфорі — на 90%, міді — на 109%, вітаміну Е — 20%, тіаміну — більше 40%, піридоксину — 10%, фолацину — 75% та ніацину — близько 40% (Гоцуляк, 2019).

Насіння чіа використовують для розробки печива, кексів, зефіру, кремово-збивних цукерерок, кисло-молочних десертів, овочево-фруктової пастили, мармеладу тощо.

Науковці НУХТ плідно займаються питанням застосування насіння чіа в технології харчових продуктів. Розроблено (Бархоленко та ін., 2019) кекс на пшеничному борошні та цукрі білому із застосуванням насіння чіа в кількості 10%, 20%, 30%. Визначено органолептичні, фізико-хімічні показники. Розраховано вміст низки нутрієнтів. У статті (Панченко, 2018) проаналізовано склад насіння чіа як перспективної сировини кондитерських виробів. За результатами порівняльного аналізу ступеня набухання насіння чіа і льону становлено, що насіння чіа краще набухає у воді, утворюючи однорідний гель (Гречко, 2019).

Науковцями (Мацук, 2019) розроблено рецептури безглютенових кексів на основі суміші гречаного та рисового борошна, які включали 5...15% насіння чіа.

Визначено органолептичні, фізико-хімічні показники кексів, їх питомий об'єм як пористість. Як солодку речовину використано цукор білий.

У (Шидакова-Каменюка, 2019) наведено результати досліджень мікробіологічних характеристик та антимікробних властивостей насіння чіа, показників мікробіологічної безпеки кремово-збивних цукерок з насінням чіа під час зберігання. Також запропоновано спосіб отримання гелю насіння чіа, який передбачає гідратацію насіння за гідромодуля 1:10 впродовж не менше 60 с (Шидакова-Каменюка, 2021). Встановлено, що застосування гелю насіння чіа замість частини жирового компонента сприяє збільшенню пористості кексів, підвищенню їх вологості та зниженню втрат під час випікання.

У статті (Дітріх, 2017) наведено результати розроблення печива, в рецептурному складі якого зменшили кількість цукру, жиру, замінили 1,5% борошна на насіння чіа, додали гарбузове пюре і гарбузову олію.

За кордоном також широко проводиться робота із застосування насіння чіа в технологіях борошняних кондитерських виробів.

У (Brandao, 2019) визначено органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні показники печива з насінням чіа. Чіа застосовували у вигляді насіння та борошна. Кращими виявились зразки із заміною 30% пшеничного борошна на 15% борошна чіа та 15% насіння чіа, а також заміною на 20% борошна на насіння чіа. Додавання насіння чіа і борошна чіа в печиво покращило харчову цінність і сенсорне сприйняття виробів.

Цікавими розробками є печиво без глютену, виготовлене з гречаного, пшоняного борошна та насіння чіа (Brites, 2019). Встановлено, що оптимальною є рецептура з таким співвідношенням компонентів: 52,5% гречаного борошна, 40% пшоняного борошна, 7,5% насіння чіа. При цьому діаметр, коефіцієнт набухання, товщина і твердість печива ближче до контрольного печива (зі 100% пшеничного борошна).

Авторами (Воа, 2021) розроблено рецептури печива: з використанням борошна сорго; 50% — борошно сорго та 50% — борошна чіа; з пророщеного борошна пшона; 50% борошно пшона та 50% борошно чіа. Печиво з чіа та пророщеного пшона має кращі органолептичні та структурні показники.

Науковці (Aranibar, 2019) застосовували частково знежиреного борошна чіа в технології мафінів. Зазначено, що спостерігалися незначні зміни в якості, але використання 5% частково знежиреного борошна чіа істотно не впливає на загальну якість продукту.

Застосування насіння чіа знайшло місце і в інших видах борошняних виробів. Німецькі вчені (Zettel, 2015) досліджували вплив насіння чіа як гідроколоїду. Щоб уникнути взаємодії крохмалю та меленого чіа, насіння вводили в тісто для пшеничного хліба у вигляді гелю. У статті (Ahmed, 2020) показано позитивний вплив лецитину та борошна чіа на свіжість хліба. У (Miranda-Ramos, 2020) використано насіння чіа в технології хліба. Чіа вносили у вигляді насіння та борошна. Акцентується увага на покращенні амінокислотного складу та зменшенні глікемічного індексу виробів. Наведені дані представляють інтерес і для розроблення борошняних кондитерських виробів.

Натепер існує низка розробок борошняних кондитерських виробів із застосуванням фруктози. Однак розробок печива з фруктозою та насіння чіа під час огляду інформаційних джерел знайдено не було

Мета дослідження: визначення впливу насіння чіа на властивості тіста для здобного печива на цукрі та фруктозі на органолептичні, фізико-хімічні показники, харчову й енергетичну цінність готових виробів.

Матеріали і методи. Об'єкт дослідження — технологія здобного печива на цукрі білому та фруктозі із застосуванням насіння чіа

Масову частку вологи в тісті визначали методом висушування на приладі Чижової. Визначення густини тіста проводили за методикою, яка полягає у визначенні маси кульки тіста та об'єму рідини, що вона займає. Визначення граничної напруги зсуву проводили за допомогою пінетрометра РПЛ-4/2. Метод полягає у вимірюванні занурення конуса в досліджувану систему під дією сталого навантаження й визначені найбільшої глибини занурення. Дослідження проводили відповідно до інструкцій роботі на приладі.

Упікання визначали за різницею мас тістових заготовок та гарячого виробу (печива). Втрату маси під час охолодження визначали за різницею маси гарячого й охолодженого печива.

Масову частку вологи готових виробів визначено методом висушування у сушильній шафі СЕШ-3М. Намокання та лужність здобного печива визначали за загальноприйнятою методикою. Міцність готових виробів визначали за допомогою приладу Строганова. Сутність методу полягає у вимірюванні зусилля (навантаження), яке спричиняє руйнування (розломлювання) печива. Міцність виробів визначається в ньютонах (Н) за шкалою приладу. Дослідження проводили відповідно до інструкцій роботі на приладі.

Визначення кількості вітамінів і мінеральних речовин проводили розрахунковим методом.

Викладення основних результатів дослідження. На першому етапі досліджень визначали раціональне дозування насіння чіа в здобному печиві. Печиво виготовляли за наведеними в табл. 1 рецептурами.

Таблиця 1. Рецептурні композиції печива з насінням чіа

Найменування сировини	Печиво на цукрі білому з насінням чіа у кількості ...% до маси борошна			Печиво на фруктозі з насінням чіа 20% до маси борошна
	10	20	30	
Борошно пшеничне в/с	100,00	100,00	100,00	100,00
Цукрова пудра	40,00	40,00	40,00	—
Фруктоза	—	—	—	36,40
Масло вершкове 82%	60,00	60,00	60,00	54,50
Меланж	18,00	18,00	18,00	16,40
Ванільна пудра	0,67	0,67	0,67	0,50
Вуглеамонійна сіль	0,19	0,19	0,19	0,18
Насіння чіа	10,00	20,00	30,00	20,00

Органолептична оцінка дослідних зразків печива на цукрі показала, що найкращі органолептичні показники має здобне печиво з кількістю насіння чіа 20% до маси борошна. Тому для печива на фруктозі було застосовано зазначене дозування насіння чіа. Аналіз органолептичних показників підтвердив, що таке дозування є раціональним.

Потрібно акцентувати увагу, що співвідношення рецептурних компонентів у печиві на фруктозі відрізняється від співвідношення їх у печиві на цукрі. Це обумовлено тим, що, як було визначено раніше, фруктоза послаблює структуру тіста.

Для надання тісту структурних характеристик, наближених до тіста на цукрі білому, було збільшено кількість пшеничного борошна на 10%.

Тісто для здобного пісочно-відсадного печива відноситься до мас коагуляційної структури з в'язко-пластичними властивостями. Для таких мас характерна велика кількості жирових компонентів у дисперсному середовищі, які за температури 20...25°C обумовлюють коагуляційну структуру. Властивості тістових мас для здобного печива залежать від рецептурних компонентів, температури замісу тощо. Насіння чіа використовується в зазначених рецептурах в кількості ~8,5 г на 100 г тіста. Враховуюче таке дозування, можна припустити, що воно буде мати певний вплив на структурні властивості тіста.

Важливими показниками, що характеризують тісто, є вологість, густина, гранична напруга зсуву (табл. 2, рис. 1).

Таблиця 2. Масова частка води та густина тіста здобного печива

Показники	Тісто для :		
	контрольного зразка	печива з чіа на цукрі	печива з чіа на фруктозі
Масова частка води, %	17,50	17,10	17,00
Густина, кг/см ³	1148	1136	1123

Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок, що застосування насіння чіа не має впливу на густину тіста. Різниця густини тіста контрольного зразка й тіста на цукрі білому і насінні чіа близько 1%. Це в межах похибки дослідів.

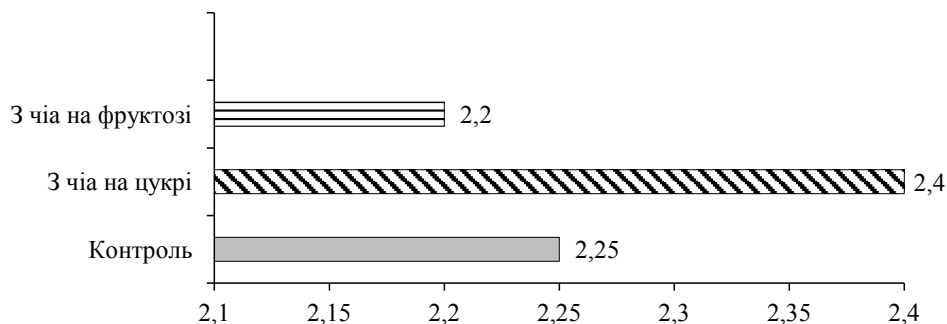


Рис. 1. Гранична напруга зсуву тіста для печива, кПа

Застосування насіння чіа спричиняє певне збільшення граничної напруги зсуву. Так, гранична напруга зсуву тіста на цукрі з насінням чіа більша за граничну напругу зсуву контрольного зразка — на 10%. Це можна пояснити тим, що насіння чіа є твердою фракцією в тісті і перешкоджає просуванню тіла занурення (конуса) в тісто. Тісто на фруктозі з насінням чіа має меншу граничну напругу зсуву, ніж тісто на цукрі з насінням чіа. Це пояснюється тим, що фруктоза має більшу за цукор розчинність. Розчинність цукру білого за 20°C дорівнює 67%, фруктози — 78%. Тобто для розчинення однієї і тієї ж кількості цукру і фруктози потрібна різна кількість води. В тісто для здобного печива вода не вноситься. Однак певні компоненти, наприклад, меланж мають значну кількість води у своєму складі. І ця вода відіграє свою роль в утворенні структури тіста.

Для раціональної організації технологічного процесу важливим є визначення втрати маси виробів при термообробленні. Насіння чіа має досить високу водопоглинальну здатність, тому доцільно було дослідити його вплив на зменшення маси виробів (табл. 3).

Таблиця 3. Втрата маси при випіканні-сушінні та охолодженні

Показники	Печиво		
	контроль	з чіа на цукрі	з чіа на фруктозі
Упікання, %	13,55	12,40	12,10
Втрата маси під час охолодження, %	0,55	0,56	0,54
Загальна, %	14,10	12,96	12,64

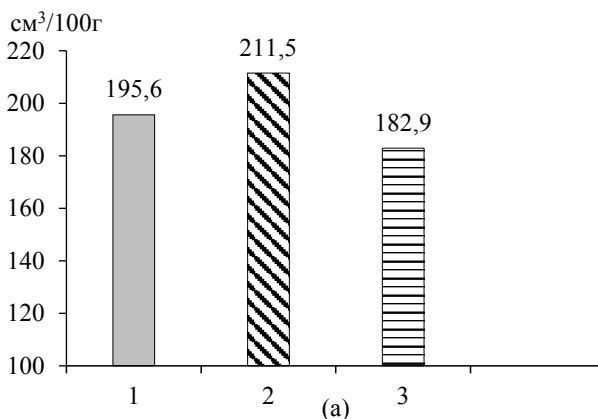
Зменшення втрати маси під час випікання-сушіння печива з насінням чіа можна пояснити досить значною вологопоглинальною здатністю насіння чіа. У печива з чіа на фруктозі загальна втрата маси при випіканні менша, ніж у печива з чіа на цукрі. Це пов'язано з тим, що печиво на фруктозі підлягає випіканню-сушінню менш тривалий час. Фруктоза бере участь в реакції меланоїдиноутворення, що спричиняє більш інтенсивне забарвлення виробів і збільшення тривалості термооброблення спричиняє надлишкове забарвлення виробів. Встановлено, що тривалість випікання-сушіння печива на фруктозі з насінням чіа менша за контрольний зразок на 5%.

Фізико-хімічні та структурні показники є важливими для загальної якості печива (табл. 4, рис. 2).

Таблиця 4. Фізико-хімічні показники досліджуваних зразків печива

Фізико-хімічні показники	Печиво		
	Контроль	Печиво з чіа	Печиво з чіа на фруктозі
Масова частка вологи, %	4,7	4,3	4,9
Лужність, град	1,8	1,6	1,4
Намокаємість, %	165,5	160,3	159,7

Вагомими структурними показниками печива є питомий об'єм та міцність. Результати їх визначення наведено на рис. 2(а, б).



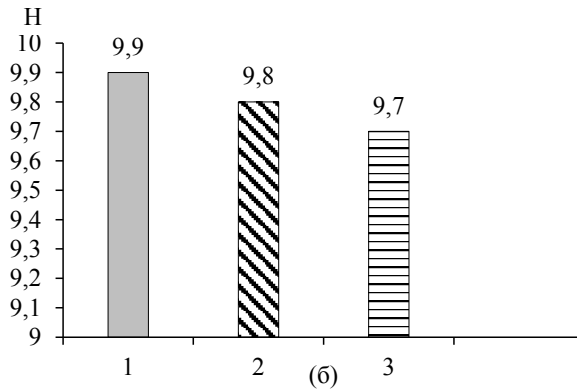


Рис. 2. Питомий об'єм (а), міцність (б) печива:
1 — контроль; 2 — з насінням чіа; 3 — на фруктозі з чіа

Питомий об'єм є вагомим показником для визначення якості печива, він характеризує пористість печива. У печиві з чіа цей показник вищий, а в печиві з чіа та фруктозою нижчий порівняно з контролем, але суттєво не відрізняється. Показник міцності печива характеризує крихкість печива, що важливо при пакуванні його традиційним способом. Міцність досліджуваного печива незначна, тобто печиво не набуватиме надлишкової крихкості, що є позитивним.

Під час зберігання здобного печива можуть відбуватись зміни його якісних показників: органолептичних, фізико-хімічних, структурних тощо.

Встановлено, що протягом одного місяця зберігання не відбувається зміни органолептичних показників печива з насінням чіа. Також було проведено визначення зміни фізико-хімічних і структурних показників печива при зберіганні поліпропіленових пакетах при температурі $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ протягом одного місяця (табл. 5).

Таблиця 5. Структурні та фізико-хімічні показники досліджуваних зразків печива (зберігання — 1 місяць)

Показник	Печиво		
	контроль	з чіа на цукрі	з чіа на фруктозі
Вологість, %	5,1	4,6	6,5
Намокаємість, %	162	155	123
Міцність, Н	9,6	9,5	6,5

Як видно з табл. 5 вологість печива збільшується, а намокаємість і міцність зменшується. Для виробів з чіа на цукрі та контрольного зразка це незначні зміни, що характерні при зберіганні, а для печива з чіа на фруктозі вологість збільшилась на 1,6%, намокаємість зменшилась на 36,7%, міцність зменшилась на 3,2 Н. Це можна пояснити гігроскопічними властивостями фруктози. Відомо, що фруктоза може починати сорбувати вологу вже при відносній вологості 40...50%. Для запобігання збільшення вологості печива його доцільно упаковувати у вологонепроникні матеріали.

Розрахунковим шляхом встановлено задоволення добової потреби у певних вітамінах і мінеральних речовинах у разі споживання 100 г запропонованого печива для чоловіків та жінок 18—29 років II групи інтенсивності фізичного наван-

таження (табл. 6). Для надання харчовому виробу статусу «функціональний харчовий продукт» вміст фізіологічно-функціональних інгредієнтів повинен задовольняти від 10 до 50% добової потреби в них. Зважаючи на це, печиво з насінням чіа за вмістом токоферолу, фосфору, магнію можна віднести до функціональних харчових продуктів.

Таблиця 6. Задоволення добової потреби у вітамінах і мінеральних речовинах

Назва нутрієнта	Задоволення добової потреби, %			
	чоловіки		жінки	
	печиво з насінням чіа на			
	цукрі	фруктозі	цукрі	фруктозі
Е — токоферол	12,0	11,9	12,0	11,9
В1 — тіамін	9,4	10,0	11,5	12,3
В2 — рибофлавін	5,5	5,0	6,9	6,3
В5, РР — ніацин	6,9	7,0	9,5	9,6
Са — кальцій	7,0	7,2	7,6	7,8
Р — фосфор	13,1	13,3	13,1	13,3
Mg — магній	12,5	13,0	10,0	10,4
Zn — цинк	6,1	6,3	7,7	7,8

Висновки

Встановлено, що раціональне дозування насіння чіа в здобному печиві на цукрі і фруктозі складає 20% до маси борошна. Густина тіста контрольного та досліджуваних зразків тіста фактично однакові. Збільшення граничної напруги зсуву в разі застосування насіння чіа є помірним і не буде ускладнювати замішування тіста та формування виробів. Тривалість випікання-сушіння печива на фруктозі з насінням чіа менша за контрольний зразок на 5%, що є позитивним. Застосування насіння чіа не погіршує фізико-хімічні та структурні показники печива й водночас покращує органолептичні показники та вітамінно-мінеральний склад печива. Впровадження у виробництво такого печива сприятиме розширенню асортименту борошняних кондитерських виробів оздоровчого призначення.

Література

Бархоленко та ін. (2019). Доцільність використання борошняних кондитерських виробів підвищеної біологічної цінності у закладах харчування при готелях. *Молодий вчений*, 1, 176—179. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-1-65-39>.

Гоцуляк, В. Я., Ушаповський, А. О. (2019). *Перспективи виробництва мармеладу оздоровчого призначення на основі вишневого пюре з додаванням насіння чіа*. Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 85 Ювілейної Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, присвяченої 135-річчю Національного університету харчових технологій, Київ: НУХТ.

Гречко, В., Страшинський, І., Пасічний, В. (2019). Використання гелів з нетрадиційної сировини для виробництва м'ясних напівфабрикатів. *Наукові праці НУХТ*, 25(5), 108—116.

Мацук, Ю. А., Колпікова, Є. О., Іщенко, Н. В. (2019). Обґрунтування технології безглютенових кексів із додаванням насінням чіа. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*, 1(91), 8—14. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2021-26-09>.

Насіння чіа. Взято з: <https://healthapple.info/zdorovya-ta-organizm/nasinnya-chia/?amp=1>.

Панченко, О., Усатюк, С. (2018). Насіння chia — як перспективна сировина у виробництві кондитерських виробів. *Проблеми формування здорового способу життя у молоді: зб. Матеріалів XI Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів з міжнар. участю*, Одеса: ОНАХТ.

Шидакова-Каменюка, О. Г., Болховітіна, О. І., Ніколаєнко, Д. Д. (2021). Використання гелю насіння chia в технології кексів зі зниженим вмістом жиру. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр.*, 1(33), 223—234.

Шидакова-Каменюка, О., Шкляєв, О., Рогова, А. (2019). Мікробіологічна безпека кремово-збивних цукерок з насінням chia. *Наукові праці НУХТ*, 25(3), 234—242.

Ahmed, I., Hannachi, A., Haros, C. (2020). Combined Effect of Chia Flour and Soy Lecithin Incorporation on Nutritional and Technological Quality of Fresh Bread and during Staling. *Journal foods*, 9(4), 321—328.

Aranibar, C., Aguirre, A., Borneo, R. (2019). Utilization of a by-product of chia oil extraction as a potential source for value addition in wheat muffins. *Journal of food science and technology-mysore*, 56(9), 4189—4197.

Boa, G., Dantas, M. (2021). Sorghum, germinated millet and chia cookies: development, chemical composition and sensory analysis. *Archivos latinoamericanos de nutricion*, 71(1), 218—227.

Brandao, N. A., Dutra, M. B. D., Gaspardi, A. L. A., Campos, M. R. S. (2019). Chia cookies: physicochemical/microbiological attributes, nutrimental value and sensory analysis. *Journal of food measurement and characterization*, 2, 1100—1110. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-00025-z>.

Brites, L. T. G. F., Ortolan, F., Bueno, F. R. (2019). Gluten-free cookies elaborated with buckwheat flour, millet flour and chia seeds. *Food Science and nechnology (Brazil)*, 2, 458—466. <https://doi.org/10.1590/fst.30416>.

Ditrikh, I., Moiseieva, V. (2017) Impovement of some functional properties of cookieswith added natural components of pumpkin and chia. *Ukrainian Journal of Food Science*, 5(1), 103—110.

Miranda-Ramos, K., Milan-Linares, M., Haros, C. (2020). Effect of Chia as Breadmaking Ingredient on Nutritional Quality, Mineral Availability, and Glycemic Index of Bread. *Journal foods*, 9(5), 271—275.

Zettel, V., Kramer, A., Hecker, F., Hitzmann, B. (2015). Influence of gel from ground chia (*Salvia hispanica* L.) for wheat bread production. *European food research and technology*, 240(3), 655—662.

CULTIVATED MUSHROOMS AS A SOURCE FOR PRODUCTION OF FOODSTUFFS AND DIETETIC ADDITIVES

G. Simakhina, N. Naumenko, O. Mezhubovsky

National University of Food Technologies

Key words:

*Mushrooms
Proteins
Vitamins
Absorption grade
Safety*

Article history:

Received 10.03.2022
Received in revised form
25.03.2022
Accepted 18.04.2022

Corresponding author:

G. Simakhina
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The up-to-date biochemistry and physiology possess the irrefutable proofs that all the vital processes in human body are bound to biotransformation of protoplasmic and nuclear proteins on cellular and tissue level. Being extraordinarily reactive, proteins are able to interact with all substances without exception, creating the complexes to be the base for cells, tissues and liquids in the body.

Inadequate supply of proteins or separate amino acids with food would cause protein insufficiency and thence the serious damages in the body as a consequence of misbalance between protein anabolism and catabolism. This state is displayed in negative nitrogenous balance in the grown-up people. The notions of immunity and body reactivity are closely connected with the special status and biotransformation of proteins. In terms of modern conceptions, anti-body creation is merely a modified process of normal globulin synthesis. Therefore, the state of immunity is significantly dependent on sufficient protein constituent in nutrition. The modern paces of life, worsening ecological situation, permanent stresses, and malnutrition lead to decrease of human immunity, oppression of antioxidant system activity, and prevalence of protein catabolism over their anabolism. This is why the problem of overcoming the protein insufficiency in diet gains more and more importance.

The authors of the article generalized and systematized the literary data about the biochemical compound of cultivated mushrooms and concentrations of essential nutrients (in particular, water and fat soluble vitamins, dispensable and indispensable amino acids) to replenish the body with biologically active substances, activate protein metabolism, provide high immune and tonic status in human. There was concluded that in current ecological conditions the search for alternative sources of the ways to prevent the alimentary diseases lies in the field of wide usage of cultivated mushrooms in production of foodstuffs and dietetic supplements.

КУЛЬТИВОВАНІ ГРИБИ — ДЖЕРЕЛО НУТРИЄНТІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ТА ДІЄТИЧНИХ ДОБАВОК

Г. О. Сімахіна, Н. В. Науменко, О. М. Межубовський

Національний університет харчових технологій

Сучасна біохімія та фізіологія мають незаперечні докази, що всі життєві процеси в організмі людини пов'язані з перетвореннями та біотрансформацією протоплазматичних та ядерних білків на рівні клітин і тканин. Наділені надзвичайною реактивністю білки здатні взаємодіяти з усіма без винятку речовинами, утворюючи комплексні сполуки, які складають основу клітин, тканин і рідин живого організму.

Недостатнє надходження білка або окремих амінокислот із їжею призводить до білкової недостатності, викликаючи серйозні порушення в організмі в результаті дисбалансу між синтезом і розпадом білка. У дорослої людини цей стан виявляється негативним азотистим балансом. Із особливим статусом і біотрансформацією білків пов'язані явища імунітету та реактивності організму. У світлі сучасних поглядів утворення антитіл є лише видозміненим процесом нормального біосинтезу білків-глобулінів. Саме тому стан імунітету значною мірою залежить від достатності білкової складової в харчуванні.

Сучасний ритм життя, несприятлива екологічна ситуація, постійні стреси, неякісне харчування призводять до зниження захисних сил організму людини, пригнічення активності антиоксидантної системи, переважання процесів катаболізму білків над їх анаболізмом. Ось чому сьогодні все більшої актуальності набирає питання подолання дефіциту білка в раціонах харчування.

У статті узагальнено і систематизовано сучасні літературні дані щодо біохімічного складу культивованих грибів, концентрації в них важливих нутрієнтів, у тому числі водо- та жиророзчинних вітамінів, замінних та незамінних амінокислот, які поповнюють організм людини біологічно активними речовинами, компенсують дефіцит білкових сполук, активують процеси метаболізму білків, забезпечують високий імунний та загальнозміцнюючий статус організму людини. Зроблено висновок, що у сучасних екологічних умовах пошук альтернативних шляхів вирішення проблеми запобігання аліментарним захворюванням лежить у площині широкого використання культивованих грибів у виробництві оздоровчих харчових продуктів та дієтичних добавок.

Ключові слова: гриби, білки, вітаміни, ступінь засвоєння, безпека.

Постановка проблеми. В організмі людини практично немає резерву білка. Єдине джерело його — білки їжі, тому вони є незамінними компонентами раціону. Процеси відновлення тканин в організмі потребують усіх без винятку 20 амінокислот. Найбільш повноцінні джерела білка: яйця, молочні продукти, м'ясо, риба. Білки їжі найповніше використовуються організмом при співвідношенні з жирами 1:1, а з вуглеводами — 1:4.

Дефіцит білка в світі оцінюється в 15 млн т, причому переважна частина дефіциту припадає на країни, що розвиваються, а також на деякі країни СНД, у т. ч. Україну. Саме тому пошуки нових джерел білка, зокрема нетрадиційних, є на сьогодні актуальними. Одним із рішень цієї проблеми є використання культивованих грибів, які містять понад 35% білка (на суху речовину), всі незамінні амінокислоти, ненасичені жирні кислоти, вітаміни, макро- та мікроелементи (Дятлов, Попова & Медведкова, 2011).

Гриби цінуються як низькокалорійний продукт із малим вмістом жирів, натрію і практично відсутністю нітратів і нітритів, а також як сировина для виробництва лікувально-профілактичних фітопрепаратів із широким спектром дії. Грибний білок має високий ступінь засвоювання в організмі людини: 100—200 г грибів достатньо для забезпечення добового білкового балансу в людини масою 70 кг. Гриби можна вирощувати протягом року в обладнаних приміщеннях і, незалежно від світлової зони, погодних і ґрунтових умов, збирати урожай з 1 га 11 тис. ц на рік. Для виробництва грибів успішно використовуються субстрати, отримані із вторинних продуктів і відходів сільського господарства. Субстрат після закінчення циклу вирощування є цінним органічним добривом (Болотских & Вольфовский, 2007).

За прогнозом вчених, у майбутньому 2/3 потреби людини в білках задовольнятиметься за рахунок промислового виробництва їстівних грибів. Уже зараз майже 80 країн світу в штучних умовах вирощують печерицю, гливу звичайну, шиїтаке, опеньок літній, зимовий гриб, кільцевик та інші гриби (Martinez-Medina, Chávez-González, Kumar Verma, Prado-Barragá & Martinez-Hernández, 2021; Stojkovic та ін., 2014). Встановлено, що вживання грибів підвищує імунітет людини до різних інфекцій, а також до онкологічних захворювань (Яценко, 2012).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Лікувальні та специфічні смакові властивості їстівних грибів відомі з давніх часів, римляни вважали гриби «їжею богів». Гриби під китайською назвою уамі мають особливий приємний пікантний смак через наявність натрієвих солей вільних амінокислот, таких як глютамінова і як часткові амінокислоти та 50-нуклеотиди. Смак уамі — смак, посилений моно-*L*-глютаматом натрію (Chang, 2006).

В усьому світі гриби цінуються як кулінарні делікатеси і відомі як «овочеве м'ясо» в багатьох культурах. Їхній благотворний вплив на здоров'я людини було визнано ще в ранніх грецькій, єгипетській, римській і китайській цивілізаціях. Сучасна наука ставить їх у фокусі оновлених досліджень терапевтичної дії та як джерела біоактивних сполук для харчової промисловості.

Гриби є низькокалорійною харчовою сировиною із незначним вмістом жирів, натрію, а особливо — нітратів та нітритів. Білок грибів має високий рівень засвоювання організмом: для забезпечення добового балансу білка необхідно приблизно 150 г на 70 кг маси тіла. Саме тому в майбутньому, за прогнозами вчених, 2/3 потреби людини в білках задовольнятиметься промисловим виробництвом їстівних грибів, з яких можуть виготовлятися замітники м'ясних виробів, кондитерські вироби тощо. Гриби використовуються у виробництві лікувально-профілактичних фітопрепаратів із широким спектром дії як основна сировина завдяки здатності підвищувати імунітет до інфекційних та онкологічних захворювань (Болотских & Вольфовский, 2007).

Світовим лідером грибною культивування є Китай, що поставляє близько 37% печериць на міжнародний ринок. Далі ідуть США із 25% та Франція із 10%. Активно нарощує обсяги виробництва грибів сусідня Польща. Загалом практично 80 країн займаються вирощуванням їстівних грибів — шиїтаке, глив, печериць, опеньків тощо. Найбільше вживаються гриби печериці (*Agaricus bisporus*) та шиїтаке (*Lentinula edodes*) (Дубініна & Тимофєєва, 2009).

Розглянемо докладно фізіологічну цінність грибною сировини. Серед факторів позитивного впливу на людину — покращення функціонального стану систем організму та окремих органів, підвищення імунітету, зниження рівню холестерину. Біокомпоненти грибів чинять кардіологічну, протипухлинну, антидіабетичну, гепатопротекторну дію (Wasser & Weis, 1999). При вживанні їстівних грибів людина отримує цілий комплекс органічних сполук, серед яких ті, що мають фармакологічні властивості, і вони впливають на організм значно м'якше, ніж синтетичні засоби, краще переносяться і, як правило, не мають кумулятивної здатності (Яценко, 2012).

Клітинна оболонка грибів містить у складі до 60% хітину, при перерахунку на суху масу (Wasser, Nevo, & Sokolov, 2000). Він активізує діяльність макрофагів, має антибактеріальну, протівірусну й протипухлинну дію та здатний до сорбції радіонуклідів і важких металів. Хітин та його компонент хітозан використовуються у ряді біотехнологій. Також у складі клітинної оболонки є пігменти з радіо- та гепатопротекторними, імуномодуючими та антиоксидантними властивостями. Грибна клітковина позитивно впливає на функції шлунку та кишківника, виводячи канцерогени. Вказані чинники є вкрай важливими для населення України, що додатково до загального техногенного фону зазнає руйнівного впливу хронічної радіації.

Особлива категорія серед БАР грибів — полісахариди, завдяки характерній здатності стимулювати створення антитіл від гепатиту В (Wasser & Weis, 1999). Виявлено ефективність їх застосування у комплексі з протеїнами для лікування ревматоїдних артритів (Meera, Smina & Nitha, 2009). В свою чергу, комплекс глюканів з білками регулює вміст цукру в крові та її тиск, широко впливає на імунну систему. Олігосахариди грибів активізують природню мікрофлору ШКТ, маючи пребіотичні властивості (Synytsya, Mickova & Synytska, 2009).

Вітамінний склад грибною сировини наступний: провітаміни А, D та В1, В2, В3, РР, В5, В6, В13, С, D.

Наведемо деякі дані щодо *біологічного складу* офіційно дозволених в Україні до вирощування грибів — глив і печериць. Детальний склад печериць узято з джерела (Stojkovic et al., 2014). Плодові тіла *гливи* містять 12% сирової клітковини, 8% мінеральних речовин, 54—82% вуглеводів та від 15 до 30% білка, причому якість останнього близька до тваринного. Міцелій гриба містить усі незамінні кислоти, окрім триптофану; деякі ненасичені ЖК та полісахариди; провітамін D, вітаміни групи В і аскорбінову кислоту. З мінералів — Магній, Манган, Мідь, Залізо, Кальцій, Калій, Фосфор, Цинк, Силіцій (Яценко, 2012).

На відміну від гливи, *печериці* містять до 3% ліпідів, з яких практично 50% — нейтральні жири. Високе кислотне число близьке до показника рослинних олій через високий вміст вільних ЖК, що складають близько 17% від загальної кількості. Переважно представлені у складі печериць ЖК — масляна та оцтова разом

із олеїноюю й стеариноюю (Ribeiro & Guedes de Pinhoa, 2009; Попова & Медведкова, 2012).

Важливою складовою грибів вважають ерготіонеїн, джерело важливого антиоксиданту, що зміцнює здоров'я людини та демонструє потенціал як консервант у харчових продуктах, сприяючи їх використанню як функціональних харчових продуктів (Дубініна & Тимофєєва, 2009).

У цьому ж літературному джерелі наводиться ще ряд цікавих характеристик культивованих грибів:

- антиоксидантні властивості їстівних грибів забезпечуються, крім ерготіонеїну, наявністю у них цілого ряду сполук: фенолів, пептидів, протеогліканів, полісахаридів, вітамінів С та D, а також мінералів;

- Stepień та ін. експериментально довели, що спорошковані плодові тіла печериць, збагачених вітаміном D₂, після 4-тижневого прийому призвели до істотного зниження рівня білка hsCRP як маркера запалення людини;

- протизапальну дію проявляє кофеїнова кислота, що є однією з найактивніших фенольних кислот. Повідомлялося про високі концентрації цієї фенольної кислоти (близько 15 мкг/г вод. в.) у різних видах грибів, зокрема печерицях.

Важливим ефектом споживання печериць є протипухлинна дія. Перевірявся вплив хімічних компонентів печериць на білок, що ушкоджує ДНК людини. Виявлено, що вони діють краще, ніж стандартні фармацевтичні інгібітори PARP (Shelke & Badhe, 2021).

Вивчалась роль незначного дієтичного втручання, зокрема регулярного споживання опромінених ультрафіолетом печериць, на ризик захворювання на цукровий діабет 2 типу: на 16-му тижні при подвоєнні ерготіонеїну порівняно з вихідним рівнем відзначалося збільшення антиоксидантного маркера ORAC (здатність поглинання кисневих радикалів) і протизапального гормону, адипонектину та значне зниження рівня сироваткового окисного стресу, що індукує оксидативний стрес (Calvo, Mehrotra & Beelman, 2016).

Досліджувався також виражений антикворумний (перешкоджання патогенному бактеріальному симбіозу) ефект етанольних та метанольних екстрактів з печериць (Glamoclija, Stojkovic & Nikolic, 2015).

Таким чином, аналіз літературних даних, результати власних експериментальних досліджень (Сімахіна, 2019; Сімахіна & Науменко, 2020; Сімахіна & Науменко, 2015) показали, що культивовані гриби містять важливі нутрієнти різного функціонального спрямування, що обґрунтовує включення культивованих грибів до оздоровчих харчових продуктів, дієтичних добавок, напівфабрикатів тощо. Разом з тим, вітчизняна наукова література з даного напрямку практично позбавлена інформації про надзвичайно цінний біокомпонент культивованих грибів — вітаміни групи D (кальциферолі), до яких належать стероїдні сполуки. Індивідуальні кальциферолі відрізняються один від одного структурою бічного ланцюга, а найважливішими представниками цієї групи є холекальциферол (вітамін D₃) та ергокальциферол (вітамін D₂) (Спиричев & Конь, 2009). Разом з тим, відомо, що гриби є єдиним рослинним матеріалом, що містить вітамін D у природній формі. Іншими природними джерелами цього вітаміну є м'ясо, птиця, морепродукти. Деякі продукти (молоко, апельсиновий сік та крупи) також можуть містити певну кількість вітаміну D.

Мета статті: узагальнення і систематизація публікацій зарубіжних та українських авторів із з'ясування світових підходів до перспектив подолання дефіциту вітаміну D за допомогою споживання культивованих грибів, зокрема печериць.

Викладення основних результатів дослідження. Останнім часом питання дефіциту вітаміну D, переважно в Європі (Bernas & Jaworska, 2017), стало загальновідомим, особливо за умов пандемії. З цього приводу існує чимало фундаментальних медичних досліджень. Вітамін D може відігравати важливу роль у багатьох аспектах здоров'я людини, від переломів кісток до раку передміхурової залози, серцево-судинних захворювань, нервово-м'язових проблем та діабету. Вітамін D виробляється в організмі людини шкірою після поглинання сонячного світла, але зі зміною способу життя людини змінюється час перебування під сонячними променями, що вимагає доповнення до їжі вітаміном D.

Харчова промисловість покликана прилучитись до вирішення питання дефіциту вітаміну D у населення України, спираючись на останні досягнення світової науки. В цьому зв'язку важливими є студії збагачення природним вітаміном D комерційно культивованих грибів.

Споживання грибів у всьому світі помітно зросло за останні чотири десятиліття, і гриби можуть стати єдиним нетваринним незбагаченим джерелом вітаміну D, що може забезпечити значну кількість вітаміну D2 за одну порцію. Найпоширенішою формою вітаміну D в грибах є D2 з меншими кількостями вітамінів D3 і D4, тоді як вітамін D3 є найпоширенішою формою в продуктах тваринного походження. Хоча рівень вітаміну D2 в грибах, що піддаються впливу УФ-променів, може знижуватися під час зберігання та приготування, рівень вітаміну D2, ймовірно, залишиться вище 10 мкг/100 г свіжої ваги, що перевищує рівень у більшості продуктів, що містять вітамін D, і наближається до добової потреби вітаміну D, рекомендованої на міжнародному рівні (Cardwell, Bornman, James & Black, 2018).

Таблиця. Рекомендовані дози вітаміну D (мг/добу) за даними (Cardwell, Bornman, James & Black, 2018)

Країна	Вік				
	1—18	19—30	31—50	51—70	71+
США	15	15	15	15	20
Канада	15	15	15	15	20
Велика Британія	10	10	10	10	10
Європейський Союз	15	15	15	15	15
Австралія та Нова Зеландія	5	5	5	10	15

Хоча натуральні гриби, зокрема печериці та шиїтаке, часто містять дуже мало вітаміну D2, оскільки їх вирощують у темряві, проте вони багаті на ергостерин — стерол рослинного походження, що є попередником вітаміну D2. Ергостерин може перетворюватися на вітамін D2 під дією ультрафіолетового опромінювання — сонячного світла або штучного УФ за допомогою ряду фотохімічних/теплових реакцій. Виробники грибів застосовують ультрафіолетове світло під час оброблення, щоб отримати гриби з рівнем вітаміну D, відповідним дикорослим грибам.

Ультрафіолетове світло має тривалу історію безпечного застосування для виробництва вітаміну D в харчових продуктах. Тому гриби, насичені отриманим за

допомогою ультрафіолетових технологій вітаміном D, вважаються безпечними та придатними для введення на ринок (Simon, Borzelleca, DeLuca & Weaver, 2013).

Останнім часом у Грибній раді та Службі сільськогосподарських досліджень США, Австралійській асоціації грибоводів, китайських наукових установах проведено численні дослідження різних технологій збагачення печериць вітаміном D аж до 100% добової норми (400 ME) шляхом УФ-опромінення.

Вивчалась біодоступність у людей вітаміну D2 з грибів, збагачених вітаміном D2 під впливом ультрафіолетового опромінення, аналогічного сонячному (UV-B) порівняно з добавкою фармацевтичного вітаміну D2. Свіжі гриби опромінювали дозою UV-B 1,5 Дж/см, підвищуючи вміст вітаміну D2 з <1 до 491 мкг/100 г, і перетворювали на експериментальний суп. У цьому 5-тижневому однократному сліпому рандомізованому плацебо-контрольованому дослідженні 26 молодих осіб із сироватковим 25-гідроксивітаміном D (25OHD) ≤ 50 нмоль/л були випадковим чином розподілені на три групи: група (а) вживала гриби, група (б) — добавку і група (в) — плацебо. Вони отримували взимку (а) 28 000 МО (700 мкг) вітаміну D2 через експериментальний суп або (б) 28 000 МО вітаміну D (2) через добавку або (в) плацебо відповідно.

Результати: через 2 тижні рівень 25OHD у сироватці був значно вищим у групі, де вживались гриби, ніж у групі плацебо ($P=0,001$). Концентрації 25OHD у сироватці в групах, які отримували гриби та добавки, значно і аналогічно підвищувалися протягом періоду дослідження. Висновки: вперше продемонстровано на людях, що біодоступність вітаміну D2 із грибів, збагачених зазначеною речовиною шляхом опромінення UV-B, була ефективною для покращення статусу вітаміну D і не відрізнялася від вітаміну D2 засобами фармацевтичних добавок. Це випробування зареєстроване на <http://germanctr.de> як DRKS00000195 (Urbain, Singler, Ihorst, Biesalski & Bertz, 2011).

За запитом Європейської комісії до EFSA з питань харчування, нових харчових продуктів і харчових алергенів (NDA) нещодавно було надано науковий висновок щодо грибного порошку, збагаченого природним вітаміном D2 в якості нового харчового продукту (NF) відповідно до Регламенту (ЄС) 2015/2283 (Regulation (EU) 2015/2283). NF — це інгредієнт, отриманий з порошку печериць (*Agaricus bisporus*), який піддавався ультрафіолетовому опроміненню, щоб викликати перетворення провітаміну D2 (ергостерину) на вітамін D2 (ергокальциферол). NF містить концентрації вітаміну D, що забезпечується вітаміном D2, у діапазоні 580—595 мкг/г. Наведена інформація щодо процесу виробництва, складу та специфікацій NF не викликала занепокоєнь Європейської комісії щодо безпеки. Новий продукт тепер має офіційний дозвіл додаватись до різноманітних продуктів харчування та напоїв, у тому числі до харчових продуктів спеціального медичного призначення та харчових добавок.

Цільовою групою населення є загальна популяція, за винятком харчових добавок та продуктів харчування спеціального медичного призначення (FSMP), для яких цільовою групою є особи віком від 1 року. Комісія дійшла висновку, що NF є безпечним для населення в цілому за запропонованих умов використання в

харчових продуктах та напоях і що NF, що вживається як харчова добавка, безпечний для осіб, старших від 1 року (Turck, Castenmiller, De Henauw & Hirsch-Ernst, 2021).

Як відзначалось, у світі ведуться активні пошуки оптимальних режимів УФ оброблення промислових печериць з метою збагачення їх вітаміном D. Розглянемо деякі з них.

Ультрафіолетове опромінення може здійснюватись різною довжиною хвилі: як UV-A, UV-B, UV-C (в латинській транслітерації для уніфікації тексту цього проекту з цитованими оригіналами), так і імпульсним ультрафіолетом — PUV. Порівнювались зміни складу грибів, підданих впливу сонячного світла, з тими, що відбуваються після комерційної обробки ультрафіолетовим (УФ) світлом. Печериці (75 кг) обробляли в присутності або за відсутності UV-B світла; третя група піддавалася впливу прямих сонячних променів. Склад грибів оцінювали за допомогою хімічних аналізів. Концентрації вітаміну D становили 5, 410 та 374 мкг/100 г (сухої маси) у контрольній групі, групах UV-B та сонячного світла відповідно. Не спостерігалось значних змін у вмісті вітаміну C, фолієвої кислоти, вітамінів B6, вітаміну B5, рибофлавіну, ніацину, амінокислот, жирних кислот, ергостерину або агаритину після обробки UV-B. Вплив сонячного світла призводить до втрати рибофлавіну на 26%, ознак окислення фолатів і збільшення ергостерину (9,5%). Було зроблено висновок, що вплив ультрафіолетового випромінювання обмежується змінами вітаміну D і не демонструє шкідливих змін відносно природного впливу сонячного світла, а отже, надає важливу інформацію щодо придатності та безпеки технології ультрафіолетового випромінювання для грибів, збагачених вітаміном D (Simon, Phillips, Horst & Munro, 2011).

Вміст вітаміну D2 у шапках і ніжках печериць, як білих, так і коричневих, значно зростає зі збільшенням дози UV-C (0,5, 1,0 та 2,0 кДж/м), тоді як обробка UV-C істотно не вплинула на вміст ергостерину в шапках і ніжках обох видів грибів (Simon, Phillips, Horst & Munro, 2011). Вміст ергостерину значно збільшився протягом 14 днів холодного зберігання печериць. Під час холодного зберігання вміст вітаміну D2 в шапках обох видів грибів знижувався з 1-го по 7-й день, а потім зберігався стабільним до 14-го дня, але вміст вітаміну D2 в ніжках коричневих грибів продовжував зростати протягом усього періоду 14 днів (Guan та ін., 2016). В іншому дослідженні свіжі печериці піддавали впливу ультрафіолетового випромінювання UV-C із середньою інтенсивністю 0,403, 0,316 та 0,256 мВт/см з відстаней відповідно 30, 40 та 50 см протягом періодів від 2,5 до 60 хв.

Стабільність і збереження вітаміну D2 оцінювали, включаючи ступінь зміни кольору під час зберігання при 4°C або кімнатній температурі. Вплив ультрафіолетового опромінення з інтенсивністю 0,403 мВт/см з відстані 30 см привів до залежного від часу збільшення концентрації вітаміну D2, яке було значно вищим, ніж концентрації, вироблені при інтенсивності 0,316 та 0,256 мВт/см з відстані 40 і 50 см відповідно. Крім того, концентрація вітаміну D2, що утворюється після опромінення UV-C дозами 0,125 і 0,25 Дж/см протягом 2,5, 5 і 10 хвилин, становила 6,6, 15,6 і 23,1 мкг/г твердих речовин, що еквівалентно 40,6, 95,4 та 141 мкг/порцію відповідно. Дані показали високу швидкість перетворення ерго-

стерину на вітамін D2 за короткий час оброблення, як того вимагає грибна промисловість. Стабільність вітаміну D2 залишалася незмінною під час зберігання при 4°C і кімнатній температурі протягом 8 днів ($P=0,36$), що свідчить про відсутність деградації вітаміну D2. Вітамін D2 добре всмоктувався та метаболізувався, про що свідчить реакція сироватки крові на 25-гідроксивітамін D у щурів, яких годували опроміненими грибами (Simon, Phillips, Horst & Munro, 2011). Доведено також підвищення мінералізації стегнової кістки щурів ($P<0,01$) у присутності вітаміну D2 з опромінених грибів порівняно з контролем (Guan, Zhang та ін., 2016).

Проводились дослідження доцільності ультрафіолетового опромінювання печериць після збору врожаю, зокрема вже нарізаних грибів. Штучно моделювались сонячні дози UV-B, аналогічні до кліматичних умов Центральної Європи. Доза штучного ультрафіолетового випромінювання 0,53 Дж/см підвищила вміст вітаміну D2 до значно ($P<0,001$) вищих рівнів $67,1\pm9,9$ мкг/г сухої ваги, ніж перебування на сонці ($3,9\pm0,8$ мкг/г) сухої ваги. Спостерігалась позитивна кореляція між виробленням вітаміну D4 та вітаміном D2 ($r(2)=0,96$, $P<0,001$) після штучного УФ-опромінення, при цьому рівень вітаміну D4 коливався від 0 до 20,9 мкг/г сухої маси. Біологічна дія вітаміну D із грибів, що піддаються впливу ультрафіолету, відображає активність цих двох основних аналогів вітаміну D (D2, D4) (Kooyalamudi, Jeong, Song & Pang, 2009).

Досліджувався також вплив дози-відповіді ультрафіолетового випромінювання сонячним світлом на вміст вітаміну D2 у нарізаних білих печерицях під час сушіння на сонці. Протягом першої години перебування на сонці вміст вітаміну D2 у грибах збільшувався лінійно, при цьому концентрація зростала від 0,1 мкг/г до $3,9\pm0,8$ мкг/г сухої маси. У наступних двох вимірюваннях через 1 і 3 години відповідно було досягнуто плато. Дві години додаткового впливу викликали значне зниження вмісту вітаміну D2. Всього після 15 хвилин перебування на сонці та дози UV-B 0,13 Дж/см вміст вітаміну D2 значно збільшився до $2,2\pm0,5$ мкг/г сухої маси ($P<0,0001$), що еквівалентно 17,6 мкг (704 МО) вітаміну D2 на 100 г свіжих грибів і може дорівнювати вмістові вітаміну у жирній рибі, наприклад атлантичному лососі (Jasinghe, Perera & Barlow, 2005).

Метою іншого дослідження було дослідити вплив UV-B на концентрацію вітаміну D2 у грибах шиїтаке та білих печерицях. Опромінення шматочків білого гриба було більш ефективним способом збільшення вмісту вітаміну D2, ніж опромінення шапок або купи цілих грибів, через більшу площу впливу. Зі збільшенням доз опромінення концентрація вітаміну D2 також зросла для обох видів грибів (Urbain, Valverde & Jakobsen, 2016).

Характерно, що ефективність перетворення ергостерину на вітамін D2 під впливом ультрафіолетового опромінювання печериць може досягатись безпосередньо навіть через сухий порошок або сухий порошок в етаноловій суспензії (1:20 г/мл, співвідношення твердих речовин і рідини). Були оптимізовані кілька параметрів УФ-опромінення: форма матеріалу (сухий порошок або сухий порошок в етаноловій суспензії), час експозиції (30, 60 або 120 хв), тип довжини хвилі (UV-C, UV-B або UV-A), комбінація довжини хвилі (UV-C плюс UV-B, UV-C

плюс UV-A, UV-B плюс UV-A, або UV-C плюс UV-B плюс UV-A), і послідовність довжини хвилі (UV-C → UV-B, UV-C → UV-A, UV-B → UV-A або UV-C → UV-B → UV-A). За оптимальних умов УФ-опромінення (сухий порошок у суспензії етанолу, опромінений UV-C на 40 см протягом 120 хв) концентрація вітаміну D2 зростає з «невиявленого» до 72 мкг/г (сухої маси) у сухому порошку печериць і 1104 мкг/г (сухої маси) (збільшення приблизно в 15 разів) у етаноловій суспензії.

Порівняння ефекту різних комбінацій довжин хвиль показало, що опромінення UV-C є ефективнішим, ніж UV-A або UV-B. Крім того, при опроміненні UV-C на відстані 40 см в етаноловій суспензії збільшення вмісту вітаміну D2 в печерицях залежало від часу або дози. Швидкість перетворення вітаміну D2 була низькою або невиявленою при опроміненні сухого порошку, але швидкість втрати ергостерину була вищою, ніж при опроміненні суспензією етанолу. Ультрафіолетове опромінення в етаноловій суспензії може значно збільшити концентрацію вітаміну D2, ніж безпосередньо в сухому порошку, і таким чином зробити їстівні гриби більш практичними як природне джерело вітаміну D для споживачів після повного видалення етанолу (Urbain & Jakobsen, 2015).

Засобом швидкого збільшення вмісту вітаміну D2 у свіжих печерицях визнано імпульсне ультрафіолетове світло (PUV). Виявлено, що вміст вітаміну D2 збільшується до понад 100% RDA (Recommended Daily Allowance) на порцію після 3 імпульсів (1 с). Після 12 імпульсів D2 наближався до максимальної концентрації 27 мкг/г сухої маси. Вітамін D2, отриманий 3-ма імпульсами, зменшився з 11,9 до 9,05 мкг/г сухої маси після 3 днів зберігання; проте рівні D2 лишалися майже постійними після цього моменту протягом 11-денного дослідження терміну придатності. Знов доведено, що нарізані гриби, оброблені PUV, виробляли значно більше D2, ніж цілі гриби. Коричневі шапки генерували значно менше D2, ніж білі (Ko, Lee, Lee & Park, 2008).

В іншому дослідженні із застосування імпульсного ультрафіолетового опромінення (до 60 імпульсів PUV) вимірювались дози потенційно біологічно активних продуктів ергостерину, які не містять вітаміну D2, — фотопродуктів люмістерину (2) та тахістерину (2). В необроблених зразках грибів фотопродуктів не було виявлено. Потенційне біологічне значення цих фотопродуктів ще належить дослідити (Hu, Yang, Hu & Feng, 2021).

Вивчався також впливу високої інтенсивності (0,5, 0,75 і 1,0 мВт/см), дози (0,5, 1,0 і 1,5 Дж/см) та часу після збирання (1 і 4 дні) на утворення вітаміну D2 у печерицях сорту грибах Portabella в результаті впливу UV-B, а також на розпад вітаміну D2 в оброблених грибах під час зберігання. Практичне комерційне виробництво вимагає якнайкоротшого часу оброблення, і інтенсивність була основним чинником, коли час, необхідний для досягнення подібної концентрації вітаміну D2 при аналогічній дозі значно зменшувався зі збільшенням інтенсивності. При інтенсивності 1,0 мВт/см у дозі 0,5 Дж/см концентрація виробленого вітаміну D2 становила 3,83 мкг/г сухої маси грибів за 8 хв., тоді як при інтенсивності 0,5 мВт/см при дозі 0,5 Дж/см концентрація виробленого вітаміну D2 становила 3,75 мкг/г сухих речовин грибів за 18 хв. Крім того, час після збору врожаю не мав істотного впливу на утворення вітаміну D2 у грибах, оброблених через 1 та

4 дні після збирання. Вітамін D2 розкладався в оброблених грибах під час зберігання за очевидною кінетикою першого порядку, де константа швидкості розпаду становила 0,025 год⁻¹ (Kalaras, Beelman & Elias, 2012).

Одне з досліджень мало за мету визначення стабільності вітаміну D2 у сушених печерицях, глинах та шийтаке під час зберігання, а також можливості індукування вітаміну D2 у сушених грибах під дією UV-B. Після 1,5 року зберігання сушених грибів рівень вітаміну D2 в грибах був 6,90 мкг/г, що становить 48,32% від початкового рівня вітаміну D2. У випадку сушених глив та грибів шийтаке спостерігалось зниження до рівня 66,90% та 68,40% відповідно. Встановлено, що сушені гриби можуть виробляти ергокальциферол під дією UV-B. Найбільший вміст вітаміну D2 відмічено у печериць. Ліофілізовані печериці містили від 42,08 до 119,21 мкг/г, а гриби, сушені гарячим повітрям, містили від 21,51 до 81,17 мкг/г вітаміну D2 (Kalaras, Beelman, Holick & Elias, 2017).

Вивчалась також стабільність вітаміну D2 під час зберігання в холодильнику грибів, оброблених UV-B після збору врожаю. Опромінені гриби зберігали при 4°C до 10 діб. Концентрації вітаміну D2 та ергостерину визначали за допомогою надвисокоєфективної рідинної хроматографії/тандемної мас-спектрометрії.

Культивовані гриби, не оброблені UV-B, не містили вітаміну D2. Найнижчий вміст вітаміну D2 ($3,55 \pm 0,11$ мкг D2/г сухої маси) показали печериці. Гливи містили $58,96 \pm 1,15$ мкг D2/г сухої маси, а шийтаке — $29,46 \pm 2,21$ мкг/г сухої маси. Під час зберігання при 4°C кількість вітаміну D2 поступово зменшувалася в глинах та шийтаке, тоді як у печерицях цей показник поступово збільшувався до шостої доби, а вже потім зменшувався (Roberts, Teichert & McNugh, 2008).

Визначався також вплив двох видів заморожування (повітряне, кріогенне), консервування (м'який та сильний розсіл) та сушіння (повітряне сушіння, сублімація) на збереження вітаміну D2 та ергостерину в печерицях. Після 12 місяців зберігання консервовані гриби зберегли найбільшу кількість вітаміну D2 та ергостерину, а найменшу — у сушених грибах. Кріогенне заморожування призводило до підвищення рівня вітаміну D2, тоді як рівень ергостерину був вищим за допомогою повітряного заморожування. Спосіб сушіння мав значний вплив лише на рівень ергостерину, що був вищим у разі сублімаційного сушіння. Найкращі результати для зберігання сушених грибів давала кімнатна температура. У консервованих грибах тип розсолу впливав лише на рівень вітаміну D2; утримання було вищим при використанні сильного розсолу. Збереження вітаміну D2 було вищим при низьких температурах, тоді як кімнатна температура призводила до більшого утримання ергостерину в консервованих продуктах (Bernas & Jaworska, 2017).

Під час виробництва грибів утворюється велика кількість відходів (що становить до 20% загального обсягу): переважно це гриби, що не відповідають специфікаціям, установленим роздрібними продавцями, через деформовані шапки та/або ніжки. Такі відходи грибів можуть бути використані як джерело відновлення як ергостерину, так і вітаміну D2, і можуть бути оцінені як фармацевтичною, так і харчовою промисловістю як цінний інгредієнт у харчових продуктах.

Висушування зразків є важливим етапом, який передусє екстракції стеролів і має значний вплив на утримання ергостерину та вітаміну D2. Екстракція стеролів

з грибів може проводитись як звичайними (наприклад, екстракція Сокслета), так і нетрадиційними методами — наприклад, за допомогою ультразвуку (UAE), за допомогою мікрохвильової печі (MAE), глибокими розчинниками (DES), надкритична рідинна екстракція (SFE), екстракція рідиною під тиском (PLE) або їх комбінації. Застосування нетрадиційних методів, наприклад OAE та MAE, сприяє коротшому термінові екстракції, ніж звичайні методи (Papoutsis, Grasso, Menon, Brunton & Lyng, 2019).

Висновки

На підставі здійсненого аналізу можна зробити висновок щодо великої перспективності наряду зі створення технології виробництва протеїнових концентратів, білкових композицій із грибних культур, а також використання культивованих грибів у якості єдиного природного джерела вітамінів групи D.

Важливим завданням організації виробництва цих продуктів є добір вихідної сировини; для цього доцільно вивчити фонд як культивованих, так і дикорослих грибів.

Специфічність технологічного виробництва і концентратів, і білковмісних композицій зумовлює істотні вимоги до сировини: високий вміст білка, інших біокомпонентів, відсутність токсичних сполук, достатня коагуляція білкової фракції, відсутність деструкції високомолекулярних сполук при сушінні тощо. Необхідними будуть також медико-біологічні дослідження отриманих продуктів для підтвердження можливості їх включення до раціону харчування людей.

Гриби за своїм біохімічним складом є досить цінним, порівняно з іншими харчовими продуктами, видом сировини з високим природним вмістом функціональних інгредієнтів. Найбільш ефективним способом перероблення грибів на високоякісні продукти функціонального призначення є їх сушіння. Майбутнє у харчових технологіях, зокрема технологіях сушіння грибів, належить комбінованим технологічним процесам на основі використання низьких температур з багатофакторними щадними впливами на біокомпоненти вихідної сировини. Саме це забезпечує їх максимальне збереження, отримання готових продуктів підвищеної біологічної цінності, що дозволяє використовувати їх у сфері оздоровчого, функціонального харчування.

Література

Болотских С., & Вольфовский В. (2007). Культивируемые шампиньоны — экологически безопасный продукт. Харьков: ХГАУ.

Дубініна А., Тимофєєва О. (2009). Розвиток грибовництва в Україні. *Харчова і переробна промисловість*, 7—8(359—360), 8—9.

Дятлов, В. В., Попова, Н. А., Медведкова, И. И. (2011). Качество и безвредность шампиньонов при хранении. *Товарознавчий вісник*, 3, 95—103.

Капустян А. І., Черно Н. К. (2018). Дієтична добавка імунотропної дії на основі продуктів деструкції пробіотичних бактеріальних культур. *Наукові праці ОНАХТ*, 82(1), 108—115. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v82i1.1016>.

Попова Н. А., Медведкова И. И. (2012). Изменение содержания триглицеридов в свежих культивируемых шампиньонах разных штаммов в процессе хранения. *Товарознавчий вісник*, 5, 320—325.

Сімахіна Г. О. (2019). Нутрієнти для підвищення резистентності організму людини до антропогенних чинників. *Наукові праці НУХТ*, 25(6), 182—194.

Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. (2020). Оптимальний підбір амінокислот для подолання білкового дефіциту. *Наукові праці НУХТ*, 26(5), 170—181.

Сімахіна Г. О., & Науменко Н. В. (2015). Технологія оздоровчих харчових продуктів. Київ: НУХТ.

Ященко, О. В. (2012). Харчова та біологічна роль їстівних та лікарських грибів в харчуванні населення. *Гігієна населених місць*, 59, 23—240.

Bernas, E., G. Jaworska, G. (2017). Culinary-Medicinal Mushroom Products as a Potential Source of Vitamin D. *International Journal of Medical Mushrooms*, 19(10), 925—935. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2017024596>.

Calvo, M. S., Mehrotra, A., Beelman, R. B. et al. (2016) A Retrospective Study in Adults with Metabolic Syndrome: Diabetic Risk Factor Response to Daily Consumption of *Agaricus bisporus* (White Button Mushrooms). *Plant Foods for Human Nutrition*, 71, 245—251. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0552-7>.

Cardwell, G., Bornman, J. F., James, A. P., Black, L. J. (2018). A Review of Mushrooms as a Potential Source of Dietary Vitamin D. *Nutrients*, 10(10), 1498. <https://doi.org/10.3390/nu10101498>

Chang, Shu-Ting (2006). The World Mushroom Industry: Trends and Technological Development. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 8(4). <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v8.i4.10>.

Glamočlija, J., Stojković, D., Nikolić, M. et al. (2015). A comparative study on edible *Agaricus* mushrooms as functional foods. *Food & Function*, 6(6), 1900—1910. <https://doi.org/10.1039/c4fo01135j>.

Guan Wenqiang, Zhang Jie, Yan Ruixiang, Shao Suqin, Zhou Ting, Lei Jing, Wang Zhidong (2016). Effects of UV-C treatment and cold storage on ergosterol and vitamin D2 contents in different parts of white and brown mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food Chemistry*, 210, 129—134. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.023>.

Hu Daihua, Yang Xu, Hu Chingyuan, Feng Zili (2021). Comparison of Ergosterol and Vitamin D₂ in Mushrooms *Agaricus bisporus* and *Cordyceps militaris* Using Ultraviolet Irradiation Directly on Dry Powder or in Ethanol Suspension. *ACS Omega*, 6(44), 29506—29515. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c03561>.

Jasinghe V. J., Perera C. O., Barlow P. J. (2005). Bioavailability of vitamin D2 from irradiated mushrooms: an in vivo study. *Br Journal of Nutrition*, 93(6), 951—955. <https://doi.org/10.1079/bjn20051416>.

Kalaras, M. D., Beelman, R. B., Elias, R. J. (2012). Effects of postharvest pulsed UV light treatment of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) on vitamin D2 content and quality attributes. *Journal Agric. Food Chemistry*, 60(1), 220—225. <https://doi.org/10.1021/jf203825e>.

Kalaras, M. D., Beelman, R. B., Holick, M. F., Elias, R. J. (2017). Generation of potentially bioactive ergosterol-derived products following pulsed ultraviolet light exposure of mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Food Chemistry*, 135(2), 396—401. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.132>.

Ko J. A., Lee B. H. , Lee J. S., Park H. J. (2008). Effect of UV-B exposure on the concentration of vitamin D2 in sliced shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) and white button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Journal Agric. Food Chemistry*, 56(10), 3671—3674. <https://doi.org/10.1021/jf073398s>.

Koyyalamudi S. R., Jeong Sang-Chul, Song Chi-Hyun, Cho Kai Yip, Pang G. (2009). Vitamin D2 formation and bioavailability from *Agaricus bisporus* button mushrooms treated with ultraviolet irradiation. *J. Agric Food Chem.*, 57(8), 3351—3355. <https://doi.org/10.1021/jf803908q>.

Martinez-Medina, G., Chávez-González, M., Kumar Verma, D., Prado-Barragán, L. A., Martínez-Hernández, J. L. et al. (2021). Bio-funcional components in mushrooms, a health opportunity: Ergothionine and huitlacoche as recent trends. *Journal of Functional Foods*, 77, 104326. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464620305508?via%3Dihub>.

Meera, Ch. R., Smina, Th. P., Nitha B. et al. (2009). Antiarthritic activity of a polysaccharide-protein complex isolated from *Phellinus rimosus* (Berk.) Pilat (Aphyllphoromycetideae) in Freund's complete adjuvant Induced arthritic rats. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 11(1), 21—28.

Papoutsis K., Grasso S., Menon A., Brunton N. P., Lyng J. G. (2019). Recovery of ergosterol and vitamin D2 from mushroom waste — Potential valorization by food and pharmaceutical industries. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 351—366. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.005>.

Ribeiro B., Guedes de Pinhoa, P. et al. (2009). Fatty acid composition of wild edible mushrooms species: A comparative study. *Microchemical Journal*, 93(1), 29—35. <https://doi.org/10.1016/J.MICROC.2009.04.005>.

Roberts J. S., Teichert A., McHugh T. H. (2008). Vitamin D2 formation from post-harvest UV-B treatment of mushrooms (*Agaricus bisporus*) and retention during storage. *Journal of Agric. Food Chemistry*, 56(12), 4541—4544. <https://doi.org/10.1021/jf0732511>.

Shelke, S., Badhe, P. (2021). In-silico study of *Agaricus Bisporus* on DNA damaging protein. URL: https://www.researchgate.net/publication/354440643_In-silico_study_of_Agaricus_Bisporus_on_DNA_damaging_protein.

Simon, R. R., Phillips, K. M., Horst, R. L., Munro I. C. (2011). Vitamin D mushrooms: comparison of the composition of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) treated postharvest with UVB light or sunlight. *J. Agric. Food. Chem.* 2011 Aug. 24. V. 59(16). P. 8724—8732. <https://doi.org/10.1021/jf201255b>.

Simon, R. R., Borzelleca, J. F., DeLuca, H. F., Weaver, C. M. (2013). Safety assessment of the post-harvest treatment of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) using ultraviolet light. *Food Chem Toxicol.*, 56, 278—289. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.02.009>.

Stojković, D., Reis, F. S., Glamčlija, J., Ćirić, A., Barros, L. et al. (2014). Cultivated strains of *Agaricus bisporus* and *A. brasiliensis*: chemical characterization and evaluation of antioxidant and antimicrobial properties for the final healthy product — natural preservatives in yoghurt. *Food & Function*, 5(7), 1602—1612. <https://doi.org/10.1039/c4fo00054d>.

Synytsya, A., Mickova, K., Synytsya, A. et al. (2009). Glucans from fruit bodies of cultivated mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*: Structure and potential prebiotic activity. *Carbohydrate Polymers*, 76(4), 548—555. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2008.11.021>.

Turck, D., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. (2021). Safety of Vitamin D2 mushroom powder (*Agaricus bisporus*) as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 19(4), 06516. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6516>.

Urbain, P., Singler, F., Ihorst, G., Biesalski, H-K., Bertz, H. (2011). Bioavailability of vitamin D2 from UV-B-irradiated button mushrooms in healthy adults deficient in serum 25-hydroxyvitamin D: a randomized controlled trial. *European Journal of Clinical Nutrition*, 65(8), 965—971. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2011.53>.

Urbain, P., Jakobsen, J. (2015). Dose-Response Effect of Sunlight on Vitamin D2 Production in *Agaricus bisporus* Mushrooms. *Journal Agric Food Chemistry*, 63(37), 8156—8161. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02945>.

Urbain, P., Valverde, J., Jakobsen, J. (2016). Impact on Vitamin D2, Vitamin D4 and Agaritine in *Agaricus bisporus* Mushrooms after Artificial and Natural Solar UV Light Exposure. *Plant Foods in Human Nutrition*, 71(3), 314—321. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0562-5>.

Wasser, S. P., Weis, A. L. (1999). Medicinal properties of substances occurring in Higher Basidiomycetes Mushrooms: current perspectives (Review). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 1, 31—62. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.v1.i1.30>.

Wasser, S. P., Nevo, E., Sokolov, D. et al. (2000). Dietary Supplements from Medicinal Mushrooms: Diversity of Types and Variety of Regulations. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2, 1—19.

APPLICATION OF POTATO PULP IN TECHNOLOGY OF SNACKS

K. Rubanka, O. Shevchenko

National University of Food Technologies

Key words:

Potato pulp
Green buckwheat flour
Snacks
Waste-free technologies
Consumer properties

Article history:

Received 14.03.2022
Received in revised form
31.03.22
Accepted 21.04.2022

Corresponding author:

K. Rubanka
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The solution of the problem of waste-free production is one of the key tasks in the processing industry and it requires clear corrective actions. The use of waste generated by the production of potato starch in the technology of potato snacks will reduce the amount of such waste, as well as will ensure the production of snacks with pleasant taste and high consumer value.

The article presents the results of and the use of technological measures for the production of potato snacks based on pulp and green buckwheat flour. The influence of green buckwheat flour dispersion on structural and mechanical properties of dough and finished products was analyzed. It was found that to ensure the highest elasticity and softness of the dough, it is advisable to use flour with size of particles — 850 microns due to the large amount of fiber in the pulp and the passage of deeper colloidal processes due to free molecules of protein and starch in green buckwheat flour. However, taking into account the effect of flour dispersion on the strength of finished snacks, it is advisable to use flour with particle size — 670 μm , because increasing particle size of flour to 850 μm does not significantly increase the strength of finished products (only by 2.7%), but significantly reduces the plasticity of the dough — by 26.1%, which begins to complicate the process of kneading dough and its formation. Waffle irons were used for heat treatment of the developed snacks, so the fat content in this product was only 2.2 g/100 g, and the washed starch from the pulp reduced the carbohydrate content to 45.21 g/100 g. The successful combination of raw materials and the choice of technology for the production of potato snacks allowed to develop a product which has an energy value of only 522.5 kcal per 100 g, and its glycemic index is 15.62 units. Thus, the possibility of consuming such a product by people who monitor their weight was proved. Their compliance with regulatory documentation was proved by sensorial and physico-chemical analysis.

ЗАСТОСУВАННЯ КАРТОПЛЯНОЇ МЕЗГИ У ТЕХНОЛОГІЇ СНЕКІВ

К. В. Рубанка, О. Ю. Шевченко

Національний університет харчових технологій

Проблема безвідходного виробництва є однією з ключових у переробній галузі і вимагає чітких коригувальних дій для її вирішення. Використання відходів, що утворюються у результаті виробництва картопляного крохмалю, в технології картопляних снєків дасть змогу знизити кількість таких відходів, а також забезпечить виробництво снєків з високими смаковими властивостями та споживчою цінністю.

У статті представлені результати застосування технологічних заходів при виробництві картопляних снєків на основі мезги та борошна із зеленої гречки. Проаналізовано вплив дисперсності борошна із зеленої гречки на структурно-механічні властивості тіста й готової продукції. Встановлено, що для забезпечення найвищої пружності та м'якості тіста доцільно використовувати борошно з крупністю 850 мкм, що пояснюється великою кількістю клітковини у меззі та перебігом більш глибоких колоїдних процесів за рахунок вільних молекул білка та крохмалю в борошні зеленої гречки. Проте, зважаючи на вплив дисперсності борошна на міцність готових снєків, доцільно застосовувати борошно розміром частинок 670 мкм, оскільки підвищення розміру частинок борошна до 850 мкм не значно підвищує міцність готових виробів (всього на 2,7%), але суттєво знижує пластичність тіста — на 26,1%, що починає ускладнювати процес замісу тіста та його формування. Для термічної обробки розроблених снєків використовували вафельниці, тому вміст жиру в такому продукті складає лише 2,2 г/100г, а вимитий крохмаль з мезги знижує вміст вуглеводів до 45, 21 г/100г. Вдале поєднання сировини та вибір технології виробництва картопляних снєків дало змогу розробити продукт, який має енергетичну цінність лише 522,5 ккал з розрахунку на 100 г готового продукту, його глікемічний індекс — 15,62 од. Доведено можливість споживання такого продукту людьми, що стежать за своєю вагою. З органолептичного та фізико-хімічного аналізу доведена їх відповідність нормативній документації.

Ключові слова: картопляна мезга, борошно із зеленої гречки, снєки, безвідходні технології, споживчі властивості.

Formulation of the problem. During processing potatoes into starch, a mixture of by-products is obtained, which includes pulp and juice water. It was showed (Wu, 2016) that if no effective measures are taken to continue using this waste, negative economic and environmental outcomes may weaken the benefits of starch recycling, but this waste-free technology industry faces major challenges. Firstly, due to the large amount of water present in fresh waste, almost 80 percent, they are not suitable for concentration and long-term transportation, and therefore they are taken to the fields without any disposal. Due to the deterioration of organic materials and the

development of bacteria, the environment can be littered with horrible odors (Levin et al., 2007). Secondly, burying the pulp leads to contamination of soil and groundwater. On the other hand, if these residues of potato waste are dried and turned into dry fodder, the cost of such waste increases significantly due to the low utilization rate (Wu, 2016).

Therefore, complex processing of potatoes with minimization of waste remains an important stage in the development of the processing industry.

Analysis of recent research and publications. Based on the data of various scientists, directions in the field of possible use of potato pulp were identified, namely:

- enrichment of pulp, which containing potato protein, is other nitrogen-containing component in the production of feed for cattle (Li et al., 2019; Yuan et al., 2004);
- preparation of pectin — starch mixtures for feed and other technical purposes (Gu et al., 2013; Yang, 2018);
- production of dietary fiber (Li et al., 2017; Wu, 2016);
- bioconversion into sugar in bioethanol production and extraction of syrup for soaking potato snacks and french fries (Gao, 2012; Ginkel et al., 2005; Wang et al., 2016; Wu, 2016);
- nutrient medium for growing yeast in the production of vitamin B12 (Mayer, 1998);
- nutrient component of the substrate in biogas production (Mayer, 1998; Wang et al., 2016);
- use in the food industry as a prescription ingredient (Bastos et al., 2016; Bengtsson et al., 2011; Cao et al., 2019; Dias et al., 2014).

The possibility and effectiveness of using potato waste as raw ingredient on an industrial scale was proved. It was proposed to use potato pulp as a source of dietary fiber in low-fat sausage technology, thereby strengthening the structure of ready-made low-fat sausages and increasing their yield (Bengtsson, Montelius & Tornberg, 2011). Replacing wheat flour with dried or extruded pulp allows to make pasta for patients with celiac disease (Bastos, Júnior & Caliarri de Araujo Pereira, 2016) and in the technology of custard, a similar substitution helps to reduce the amount of digestible starch and glycemic index of the finished product (Cao, Zhang, Guo, Dong & Li, 2019). Partial replacement of wheat flour with potato pulp helps to reduce the lipid content in finished products by 24% in the technology of deep-fried snacks (Dias, Oliveira, Campos & Manoel, 2014), however, such snacks are not balanced in their chemical composition, and the fat content remains quite high.

Snack products are one of the most common among children, young people and middle-aged people, due to their nutritional value and easy consumption, especially in urban conditions. Particular attention is paid to potato snacks due to their taste and low price. However, due to the above disadvantages of this product (high fat content and low content of biologically active substances), their consumption is limited. In order to increase the nutritional value of pulp-based snacks, it is advisable to add raw materials rich in biologically active substances, for example green buckwheat. Chemical composition of green buckwheat and potato pulp is presented in table 1 (Gu et al., 2013; Mazza et al., 2003; Yuan et al., 2004; Zhu et al., 2008).

Table 1. Chemical composition of green buckwheat and potato pulp

Indicator	Green buckwheat	Potato pulp
Water, %	9.7—	18.0—31.0
Protein, %	13.0—15.0	3.9—11.4
Fat, %	3.4	3.7
Carbohydrates, %	71.5	53.7
Alimentary fiber, %	5.0—11.0	68.6
Vitamins:		
A, µg	6.0	not found
B1, mg	0.4	_*
B2, mg	0.2	_*
B6, mg	0.4	_*
B9, µg	31.8	160.0
EE, mg	6.7	not found
PP, mg	4.2	-
Minerals, %	1.2	1.6—8.9
Macronutrients:		
Ca, mg	20.7	255—657
Mg, mg	200.0	337—363
Na, mg	3.0	194
K, mg	380.0	8478—8892
Trace elements:		
Fe, mg	6.7	n/a
Zn, mg	2.0	n/a
I, µg	3.3	n/a
Cu, µg	640	n/a
Mn, mg	1.56	n/a
Cr, µg	4.0	n/a
F, µg	23.0	n/a
Mo, µg	34.4	n/a
Si, mg	81.0	n/a
Co, µg	3.1	n/a

Remark: *_ — traces of the compound were detected.

The protein content in green buckwheat is in the range of 13.0—15.0%, and its value is due to the presence of up to 18.2% albumin, 43.3% of globulin, 0.8% of prolamin, 22.7% of glutelin and 5.0% of other amino acids. Green buckwheat is a source of amino acids, which have good solubility and high digestibility. As for the pulp, the amount of protein in it reaches in average 6%, which is twice less than in green buckwheat. The value of this protein is provided by the presence of 8 essential amino acids, among which are asparagine — 8.6%, glutamine — 7.1%, alanine — 7.5%, prolamine — 43.6% and valine — 10.5%.

The main fiber components (the amount of fiber is 11%) of green buckwheat are cellulose, non-starch polysaccharides and lignin, for pulp they are pectin, cellulose and hemicellulose, the content of which is 6 times higher than in green buckwheat.

The amount of fat in both raw ingredients is at the same level, while the ash in potato pulp is 7 times higher than in green buckwheat, which explains the higher number of micro- and macronutrients in the pulp. As for vitamins, there is a reverse trend, as their number is much higher in green buckwheat and is represented by vitamins B1, B2,

B6, B9, PP, the highest amount takes vitamins EE and A — 6.7 and 6.0 mg, respectively.

Green buckwheat is a source of antioxidants which protect the product from acidification compared to other cereals, which in turn increases the resistance of this ingredient to rancidity during storage and prevents mold in case of high humidity (Hetman, Mykhonik, Kuzmin & Shevchenko, 2021; Wu, 2016).

The complete replacement of wheat flour and dry potato pulp on green buckwheat flour and potato pulp, respectively, will create a ready-to-eat product, balanced in its chemical composition and low in fat. The valuable chemical composition of these raw materials will give healthy properties to products with their content (Шевченко, Сімахіна & Шевченко, 2020).

The purpose of the research was to study the influence of green buckwheat flour on the structural and mechanical properties of dough and on the quality of finished products.

Materials and methods. The influence of dispersion of green buckwheat flour (TM “Skvyryanka” (Ukraine)) on structural and mechanical parameters of dough, sensorial, physicochemical and structural and mechanical indicators of quality of ready-to-eat snacks made on the basis of potato pulp (TM “Vimal” (Ukraine)). In addition, the chemical composition of green buckwheat flour, pulp and ready-made snacks was analyzed.

The green buckwheat was crushed into flour using a laboratory mill ML-2, and then it was sifted on sites of various sizes, which are 8.7; 11; 20; 23; 41/43. As a result, flour with dispersion 200 μm, 310 μm, 390 μm, 670 μm, 850 μm was obtained.

The mixing of the dough was carried out using a mixing machine (Esperanza EKM024 (Poland)), which added not only flour and pulp but egg mélange and salt. The recipe of potato snacks is presented in table. 2. The dough was kneaded with a mass fraction of dry matter of 25.0%. Heat treatment was performed using a household waffle iron (MAGIO MG-397, (China).

Table 2. Recipe for potato snacks

Ingredient	Quantity, g
Potato pulp	71.6
Salt:	1.1
Green buckwheat flour	24.5
Egg	2.2
Oil	0.5
Total:	100

In order to establish the influence of different types of starch on the structural and mechanical properties of the dough, general deformation, relatively elastic deformation, softness, reproducibility and plasticity of dough pieces were investigated using a structrometer STS-1 (Moscow) with sphere nozzle.

Heat treatment of dough blanks was performed at a temperature of 140°C for 2—3 min. As a control sample the classic technology of snacks from potato was used (1.5 mm thick potato slices were fried in a deep-fried fryer at a temperature of 150—160°C for 3 minutes).

Sampling for the analysis of the finished product was carried out and sensorial indicators of finished snacks were determined according to methodology, protein content — by Keldal's method, fat — by refractometric method, and carbohydrates — by Schorl's micromethod.

Analysis of the energy value of snacks was determined by the Pokrovsky method per 100 g of finished product. During the calculations, they used the "Norms of physiological needs of the population of Ukraine in basic nutrients and energy" approved by the Ministry of Health of Ukraine for women aged 18—29 years, 1st labor intensity group. The glycemic index of snacks was calculated according to the method developed in the National University of Food Technologies (Patent 40623 UA), which means calculation of the sum of the products of each glycemic index of carbohydrate per 100 g of food product. Statistical processing of the obtained experimental data was performed for three measurements of all studied properties. In the tables there is indicated the number of repetitions and the maximum error in the form of $M \pm m$; $n = 3$, where M is the error, n is the number of repetitions.

Results and discussion. The degree of dispersion of flour in different ways affects the process of snack production, because it has different chemical composition (Дробот, Шевченко & Літвинчук, 2021). Firstly, its size affects the quality of the dough (kneading process, dough formation and heat treatment) and finished product. That is why it was considered appropriate to analyze the effect of green buckwheat flour of different fractions on the structural and mechanical properties of dough. The results of studies of general deformation, relatively elastic deformation, softness, reproducibility and plasticity of test blanks are presented in table. 3.

Table 3. Structural and mechanical quality indicators of dough based on pulp and green buckwheat flour

$M \pm 0.05$; $n = 3$

Indicator	The size of the flour particles of green buckwheat, microns				
	200	310	390	670	850
General deformation, Pa	0.55	0.67	0.70	1.84	1.89
Relatively elastic deformation, Pa	0.48	0.61	0.66	1.18	1.38
Softness, Pa	37.93	48.29	54.04	69.11	80.00
Reproducibility, Pa	48.17	53.33	65.67	68.33	72.83
Plasticity, Pa	22.43	15.73	6.47	6.37	4.71

It was found that the structural and mechanical properties (general deformation, relatively elastic deformation, softness and reproducibility) of the dough from green buckwheat flour with a dispersion of 200 μm to 850 μm increased with increasing dispersion, while the plasticity, on the contrary, decreased. This pattern is explained by the decrease in the number of destroyed and broken grains of starch and protein in flour with bigger size. The more free grains of starch in the dough, the lower its elasticity, the higher the plasticity, because in such systems there are deeper colloidal processes, namely the swelling of starch grains (Drobot & Shevchenko, 2021). Potato pulp has no less significant influence on the structural and mechanical properties of the dough than buckwheat flour, namely because of the presence of approximately 65.0 g/100 g of dietary fiber. These compounds help to increase the stability of the system, and therefore

increase the elasticity, softness and reproducibility, due to their high moisture absorption and moisture retention capacity. Potato fiber has capillary structure, that is why water retention occurs not only on the surface of the fiber, but also inside the capillary channels, thereby improving the structure of the finished product (Rubanka, Terletska, Pysarev & Abramova, 2021).

If the dispersion of flour increases from 200 μm to 390 μm , its general deformation and relatively elastic deformation increases by 27% and 37%, respectively. Further increase in dispersion of flour to 850 μm increases these indicators by 243% and 187%, respectively. Similar results were obtained for such indicators as softness and recoverability, which increased with increasing dispersion of flour, but the increase in the softness of the dough was twice higher than for reproducibility.

As for plasticity, with increasing size of the flour particles from 200 μm to 850 μm , it decreases by 79%.

Therefore, to obtain dough in the production of potato snacks based on potato pulp with the best structural and mechanical properties, it is advisable to use flour with dispersion of 850 microns, which facilitates the formation of kneading process. However, it is necessary to take into account the way in which the size of the flour will affect the strength, and therefore the crunchiness of the finished snacks.

The effect of flour grinding size with particles from 250 to 850 microns on the brittleness of finished snacks was investigated. The results of the influence of the dispersion of green buckwheat flour on the strength of the finished snacks are presented in fig.

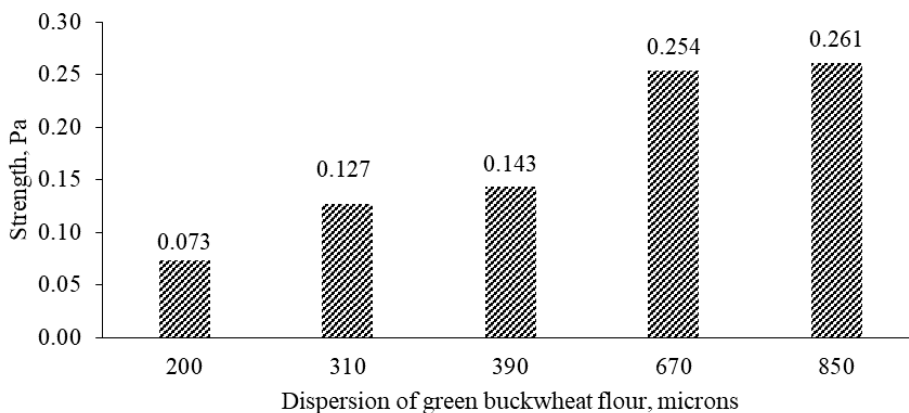


Fig. Influence of dispersion of green buckwheat flour on the strength of ready-made potato snacks, $M \pm 0.05$; $n = 3$

It was established that the strength of finished products increased with increasing size of flour particles, which may be explained by the presence of a smaller amount of free fractions of protein and starch, which gives a paste.

The strength of finished products increased by 73% when doubling the dispersion, namely from 200 microns to 390 microns. Increasing the dispersion of flour by 3.3 times (from 200 microns to 670 microns) increased the strength of snacks by 247%, while 4.3 times increasing (from 200 microns to 850 microns) — only by 257%.

Therefore, taking into account the plasticity, softness, elasticity of the dough and the strength of the finished products, It is recommended to use flour with size of particles — 670 microns, which will allow to get dough with good structural and mechanical properties and ready-made snacks with high strength (crunchiness).

As a result of research, it is proposed the development of potato snacks based on potato pulp and green buckwheat flour with dispersion of 670 microns. However, the quality of finished products remains unclear. Therefore, the sensorial, physicochemical and consumer properties of potato snacks were studied.

The results of studies of sensorial indicators of potato snacks proposed for the development are presented in table. 4.

Table 4. Sensorial indicators of potato snacks

Indicator	Characteristics
Appearance	The shape is round, the plates are thin with a pattern on the surface that repeats the look of a waffle iron
Color	Yellow, have a slight darkening at the edges
Taste and smell	Well expressed, peculiar to potatoes, there is a light taste of buckwheat, without extraneous taste and smell

Physicochemical parameters (mass fraction of moisture, ash, mass fraction of chlorides, impurities and the presence of broken slices) are presented in table. 5.

Table 5. Physicochemical indicators of potato snacks

Indicator of quality	Control sample	Potato snacks based on potato pulp and green buckwheat flour
Mass fraction of moisture, %	no more than 5.0	4.2
Mass fraction of chlorides, %	no more than 3.0	1.7
Presence of impurities	not allowed	not found
The presence of broken slices, plates (passage through a sieve with a hole size of 20 mm, %)	no more than 10.0	not found

Developed snacks have a pleasant, distinct taste and aroma of potatoes. The products have a round shape, the color is similar to the control sample (light yellow without burnt edges).

According to the results of research of physicochemical parameters, it was determined that the developed snacks have mass fraction of moisture 4.2%, mass fraction of chlorides — 1.7%, the presence of impurities and slices was not found.

Nutritional, energy value and consumer properties are also important characteristics of snacks, which, like sensorial characteristics, influence consumer choice. Therefore, the nutritional, energy value and glycemic index of snacks made from potato pulp and green buckwheat flour were determined.

In the developed snacks based on potato pulp and green buckwheat flour, the content of basic nutrients was determined, according to which the nutritional and energy value and glycemic index was calculated (table 6).

Table 6. Energy value and glycemic index of potato snacks

Indicator	Daily requirement, g/100 g	Content, g/100 g	Integral score, %
Proteins	55	14.31	26.01
Fats	56	2.20	3.93
Carbohydrates	320	45.21	14.06
Energy value, kcal	2450	255.24	
Glycemic index, units		15.63	

According to calculations, it was determined that the developed potato snacks cover more than 25% of the daily protein requirement in case of consumption of 100 g of product. But the content of carbohydrates and fat is low, for which the integrated rate is only 14.06% and 3.93%, respectively. The energy value for snacks is 522.5 kcal, which provides the fifth part of the daily energy needs.

No less important consumer characteristic of the developed snacks is their glycemic index. It was found that snacks offered for processing belong to products with low glycemic index, as its value is only 15.63 units and does not exceed the permissible level of 40.0 units for products with low glycemic index. Such results are due to the low glycemic index of the raw materials which were used. Firstly, the pulp is free from a large amount of starch, while fiber, although in large quantities, has a low value of this indicator, only 0.1 units.

Conclusions

Production of potato snacks based on potato pulp and green buckwheat flour solves the global problem of waste-free processing of raw vegetables. The use of buckwheat flour with a dispersion — 670 microns, provides the production of finished snacks with high structural and mechanical properties. The energy value of such snacks is much lower compared to potatoes and is only 255.24 kcal, which is 2 times less than chips fried in oil, because in their production deep fryers aren't used, and therefore the amount of fat is much lower, in addition, the use of pulp, from which starch is washed, also reduces energy value. According to the glycemic index, such snacks belong to the group of products which have a low rate as it does not exceed 40 units and is only 15.63 units. Therefore, they can be consumed by people who control weight and who have diabetes.

References

- Дробот, В. І., Шевченко, А. О., Літвинчук, С. І. (2021). Вплив рисового борошна на структурно-механічні властивості тіста та якість хліба. *Наукові праці НУХТ*, 27(5), 114—122. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2021-27-5-15>.
- Шевченко, О. Ю., Сімахіна, Г. О., Шевченко, А. О. (2020). Оздоровче харчування в контексті продовольчої безпеки в Україні. *Наукові праці НУХТ*, 26(6), 36—43.
- Bastos, G. M., Soares Júnior, M. S., de Araujo Pereira, M. C. (2016). Physical and sensory quality of gluten-free spaghetti processed from amaranth flour and potato pulp. *LWT — Food Science and Technology*, (65), 128—136. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.067>.
- Bengtsson, H., Montelius, C., Tornberg, E. (2011). Heat-treated and homogenised potato pulp suspensions as additives in low-fat sausages. *Meat Science*, (88), 75—81. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.12.005>.
- Cao, Y., Zhang, F., Guo, P., Dong, S., Hongjun, Li. (2019). Effect of wheat flour substitution with potato pulp on dough rheology, the quality of steamed bread and in vitro starch digestibility. *LWT — Food Science and Technology*, 111, 527—533. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.034>.

Chemical composition and nutritional value. Взято з <https://www.ecorod.ua/en/products/entry/view/42>.

Cheng, Li., Zhang, X., Hong, Y., Zhaofeng, Li., Caiming, Li., Zhengbiao Gu. (2017). Characterisation of physicochemical and functional properties of soluble dietary fibre from potato pulp obtained by enzyme-assisted extraction. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 1004—1011. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.156>.

Dias, Thays de L.; Oliveira, Tatianne F. de; Campos, Maria R. H. and Soares Junior, Manoel S. (2014). Utilization of residual pulp of potato in snacks as prospect of reducing environmental. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(2). <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000200014>.

Drobot, V., Shevchenko, A. (2021). Influence of pumpkin processing products on structural and mechanical properties of dough and bread quality. *Наукowi праці HVXT*, 27(3), 172—180. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2021-27-3-20>.

Gao, M.-T., Yano, S., Inoue, H., K. Sakanishi, Gao, M.-T. (2012). Production of ethanol from potato pulp: Investigation of the role of the enzyme from *Acremonium cellulolyticus* in conversion of potato pulp into ethanol. *Process Biochemistry*, 47(12), 2110—2115. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.07.031>.

Gu, Z., Chen, L., Hong, Y. (2013). Effective utilization technology of potato pulp produced from potato starch industry. *Journal of Food Science and Technology*, 31, (1), 64—69. <https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-6002.2013.01.014>.

Hetman, I., Mykhonik, L., Kuzmin, O., Shevchenko A. (2021). Influence of spontaneous fermentation leavens from cereal flour on the indicators of the technological process of making wheat bread. *Ukrainian Food Journal*, 10(3), 492—506. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-3-6>.

Levin, D. B., Zhu, H., Beland, M., Cicek N., Bruce E. Holbein. (2007). Potential for hydrogen and methane production from biomass residues in Canada. *Journal of Bioresource Technology*, 98, 654—660. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.027>.

Li, C., Hu, Gu, Z., Yan, H., Zhaofeng, L., Caiming, L. (2019). Characterization of physico-chemical properties of cellulose from potato pulp and their effects on enzymatic hydrolysis by cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, 131, 564—571. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.164>.

Mayer, F. (1998). Potato pulp: Properties, physical modification and applications *Polymer Degrad Stab*, 59, 231—235.

Mazza, G., Oomah, B. D. (2003). Buckwheat. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 692—699. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00132-2>.

Rubanka, K., Terletska, V., Pysarev, M., Abramova, A. (2021). Prospects of potato pulp disposal: a review. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 35, 83—95.

Van Ginkel, S. W., Oh, S. E., Logan, B. E. (2005). Biohydrogen gasproduction from food processing and domestic wastewaters. *J Int. J. Hydrogen Energy*, 30, 1536—1542. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2004.09.017>.

Wang, F. Jiang, Y., Guo, W., Niu, K., Zhang, R., Hou, S., Wang, M., Yong Yi, Zhu, C., Jia, C. & Xu Fang (2016). An environmentally friendly and productive process for bioethanol production from potato waste. *Biotechnology for Biofuels*, 9(1), 611—621. <https://doi.org/10.1186/s13068-016-0464-7>.

Wu, D. (2016). Recycle technology for waste residue in potato starch processing: A review. *Procedia Environmental Sciences*, 3, 108—112. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.015>.

Yang, J.-S., Mu, T.-H., Ma, M.-M. (2018). Extraction, structure, and emulsifying properties of pectin from potato pulp. *Food Chemistry*, 244, 197—205. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.059>.

Yuan, H. Zhao, P., Li, Z. (2004). Value and prospect of development and utilization of waste residue in potato starch processing. *J Gansu Science and Technology Review*, 33(6), 67.

Zhu, H. Stadnyk, A., Béland, M., Seto, P. (2008). Co-production of hydrogen and methane from potato waste using a two-stage anaerobic digestion process. *J Bioresource Technology*, 99, 5078—5084. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.083>.

THE RESEARCH OF THE TECHNOLOGY OF HALVA FOR HEALTH PURPOSE

A. Bashta, N. Ivchuk, S. Bazhay-Zhezherun

National University of Food Technologies

Key words:

Pumpkin seeds

Sunflower seeds

Flaxseed meal

Blueberries

Halva

Article history:

Received 10.03.2022

Received in revised form
25.03.2022

Accepted 12.04.2022

Corresponding author:

A. Bashta

E-mail:

alla.sher.b@gmail.com

ABSTRACT

The possibility of using pumpkin seeds, flaxseed meal and blueberry powder to reduce energy value and increase the nutritional value of halva was justified in the article.

Sunflower seeds are traditionally used in Ukraine to make the protein mass of halva. In this work the method of combination (sunflower seeds are partially replaced by pumpkin seeds and flaxseed meal) is chosen to enrich halva. Twelve different ratios of protein ingredients (sunflower seeds, pumpkin seeds and flaxseed meal) were analyzed to obtain halva with healthy properties. Four samples with the maximum content of protein and dietary fiber were selected. When analyzing sensorial and physicochemical parameters, a sample containing 60% of sunflower seeds, 15% of pumpkin seeds and 25% of flaxseed meal was selected. In such case the amount of protein increased from 20.7 g to 26.0 g per 100 g of halva protein mass, as well as the fiber content increased from 5.0 g to 13.3 g and the energy value of the finished product was reduced. The fat content of the finished halva at this ratio was 25.7%, which meets the current requirements for the product in Ukraine.

In order to enrich halva with plant raw material containing polyphenolic compounds and various other biologically active substances, blueberries were selected. The studied blueberries have a high content of antioxidants, in particular ascorbic acid is 57 mg%, the content of bioflavonoids is 1985 mg% and carotenoids — 1.3 mg%. The rational dose of the introduction of blueberry powder in the recipe of halva was 5%.

The nutritional and energy values of both developed and traditional recipes of halva was calculated. The content of protein and fiber in the enriched halva increased 1.3 times and 3.2 times respectively. The energy value decreased by 80 kcal per 100 g, compared to halva made by traditional technology.

The use of selected raw materials in the technology of halva production allows enriching it with a significant amount of biologically active substances and creating a finished product with healthy properties, good taste and appearance.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ХАЛВИ ОЗДОРОВЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

А. О. Башта, Н. П. Івчук, С. А. Бажай-Жежерун

Національний університет харчових технологій

У статті обґрунтовано можливість використання гарбузового насіння, шроту насіння льону та порошку ягід чорниці у технології виробництва халви для зниження енергетичної та підвищення харчової цінності готового виробу.

Для виготовлення білкової маси халви традиційно в Україні використовуються соняшникове насіння. У статті обрано спосіб комбінування — насіння соняшника частково замінюємо насінням гарбуза та шротом насіння льону для збагачення халви. Проаналізовано 12 різних співвідношень білкових інгредієнтів (насіння соняшника, гарбузового насіння та шроту насіння льону) для отримання халви оздоровчого призначення. У ході досліджень відібрано чотири зразки з максимальним вмістом білка та харчових волокон. На етапі аналізу органолептичних та фізико-хімічних показників обрано зразок, що містить 60% соняшникового насіння, 15% гарбузового насіння та 25% шроту з насіння льону. За такого співвідношення компонентів зростає кількість білка з 20,7 г до 26,0 г на 100 г білкової маси халви, а також вміст клітковини з 5,0 г до 13,3 г, та знижується енергетична цінність готового продукту. При цьому вміст жиру готової халви за такого співвідношення становить 25,7%, що відповідає чинним вимогам до виробу в Україні.

З метою збагачення халви рослинною сировиною, що містить поліфенольні сполуки та інші різноманітні біологічно активні речовини, було обрано ягоди чорниці. У досліджених ягодах чорниці встановлено високий вміст антиоксидантів, зокрема аскорбінової кислоти — 57 мг%, вміст біофлавоноїдів — 1985 мг%, каротиноїдів — 1,3 мг%. Раціональною дозою є внесення порошку чорниці у кількість 5%.

Розраховано харчову й енергетичну цінність розробленої та традиційної халви. У збагаченій халві збільшився вміст білкових речовин (в 1,3 раза), клітковини (в 3,2 раза), при цьому енергетична цінність зменшилася на 80 ккал на 100 г готового виробу порівняно з халвою за традиційною технологією.

Застосування обраної сировини в технології виробництва халви дає змогу додатково збагатити її значною кількістю біологічно активних речовин та створити готовий продукт оздоровчого призначення з гарним смаком і зовнішнім виглядом.

Ключові слова: гарбузове насіння, насіння соняшника, шрот з насіння льону, ягоди чорниці, халва.

Постановка проблеми. Дослідження нутриціологів свідчать про те, що в сучасному суспільстві харчування може призводити до тих чи інших видів харчової недостатності. Причини цього загальновідомі — дефіцит білків, нестача вітамінів та інших макро- та мікронутрієнтів, вживання рафінованої їжі, широке

використання різноманітних харчових добавок, що не мають біологічної цінності (Сімахіна & Науменко, 2016).

Однією із визначальних рис нинішнього етапу розвитку суспільства є те, що проблема збереження здоров'я населення, збільшення тривалості життя кожного індивіда перестала бути сферою уваги лише біології та медицини і посіла значне місце в розвитку новітніх харчових технологій. Пріоритетним напрямком є створення принципово нових технологій, розробка і включення в раціон продуктів, які мають оздоровчий вплив на організм людини, забезпечують профілактику аліментарно-залежних станів і захворювань, сприяють усуненню дефіциту вітамінів, мікро- і макроелементів, харчових волокон, білкових речовин.

Ринок кондитерських виробів — один з найбільш розвинутих у вітчизняній харчовій промисловості. Халва відноситься до улюблених кондитерських виробів дітей і дорослих, має великий попит у споживачів (Сирохман & Лебединець, 2009). Це кондитерський виріб шарово-волокнистої структури, що складається із тонких волокон збитої з піноутворювачами карамельної маси та розтертих смажених олійних ядер. Порівняно з більшістю солодошів халва має не тільки приємні органолептичні властивості, а є цінним харчовим продуктом завдяки великому вмісту вуглеводів 40—55%, жиру 25—35%, повноцінних білкових речовин 12—20%, мінеральних речовин та вітамінів В1 та Е. Калорійність халви в межах 500—560 ккал на 100 г. Тому, незважаючи на досить високу харчову цінність, згідно із сучасними вимогами науки про харчування, зниження енергетичної цінності і підвищення харчової цінності халви є актуальним завданням (Сімахіна & Науменко, 2016; Сирохман & Лебединець, 2009).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних умовах важливого значення набувають проблеми розроблення технології кондитерських виробів оздоровчого призначення (Брановицкая & Кайбулаева, 2018; Сирохман & Лебединець, 2009). Розширення асортименту оздоровчих харчових продуктів, зниження калорійності, подовження терміну зберігання можливо за умови цілеспрямованого застосування харчових добавок, частина з яких виконує не лише технологічні функції, а й має високу біологічну цінність (Тележенко, 2004; Clifford, Howatson, West & Stevenson, 2015). Харчова та біологічна цінність халви залежить від сировини, з якої вона виготовляється.

З метою корегування хімічного складу халви вчені пропонують використовувати найчастіше нетрадиційні добавки рослинного походження, перш за все багаті на біологічно активні речовини (Hayat & Amal, 2020).

Такими збагачувачами можуть виступати зерно рису і/або проса, і/або кукурудзи (Патент України 36125. Спосіб виробництва халви). Вказаний спосіб забезпечує створення продукту зі зниженою кількістю жирів і калорійністю, поєднуючи біологічну цінність з приємним смаком, з підвищеною засвоюваністю та збільшеним терміном зберігання. Технологію виробництва халви, що пропонується, можливо реалізувати при виробництві різних видів халви соняшникової ванільної, соняшникової з арахісом, ізюмом, какао-порошком та іншими наповнювачами.

Науковцями (Catargiu, Raican & Poiana, 2017) запропоновано використовувати у виробництві халви горіхи та зневоднені фрукти. Додавання таких збагачувачів

забезпечує створення продукту оздоровчого призначення з підвищеною харчовою цінністю, приємним смаком і привабливим зовнішнім виглядом.

Відомий спосіб приготування кос-халви з використанням суміші ядер арахісу смаженого та родзинок (Патент України 49625. Спосіб приготування кос-халви), причому кількість цукру-піску регулюють залежно від ступеня цукристості родзинок. Запропонована кос-халва приємна на смак, повітряна та легко засвоюється.

Для отримання продукту з високими органолептичними характеристиками та біологічною цінністю, а також розширення асортименту і підвищення споживчих властивостей виробу розроблено халву, де як наповнювач використовують вишню кондировану і/або в'ялену (Патент України 118553. Халва соняшникова з вишнею). Вітаміни групи В (В1, В2, В6, В9), аскорбінова кислота, біофлавоноїди, каротиноїди дуже вдало поєднуються у вишні з такими мікроелементами, як магній, кобальт, залізо, що в сукупності сприяє зміцненню стінок кровоносних судин, запобігає розвитку анемії і підвищує імунітет. Завдяки цим властивостям вишні підвищуються органолептичні характеристики та харчова цінність халви.

Важливим напрямком є розроблення рецептури халви, яка забезпечує можливість вживання такого продукту людям, хворим на цукровий діабет. Як замітник цукру використовують фруктозу або суміш фруктози та екстракту стевії (Патент України 107222. Халва). Використання як замітника цукру фруктози або суміш фруктози і екстракту стевії дає змогу зменшити калорійність продукту та дозволяє вживати його у їжу людині, що хворіє на діабет без ризику шкідливого впливу на здоров'я.

Велику увагу науковці приділяють питанню розробки кондитерських виробів, зокрема і халви, із внесенням компонентів зі збільшеним вмістом білків, харчових волокон, мікронутрієнтів. Так, розроблено халву з додаванням харчових волокон, зокрема з такої нетрадиційної сировини, як кунжут і фініки (Elleuch та ін., 2014).

Для підвищення вмісту білка, харчових волокон і мікронутрієнтів у готовому виробі запропоновано використання в складі халви шроту з гарбузового насіння (Башта & Мандзіроха, 2016), насіння льону (Belinska та ін., 2019) та шроту насіння льону олійного (Воевода & Крючкова, 2019). Користь шроту льону та насіння гарбуза пов'язана з цінним складом їх насіння, що містить незамінні амінокислоти, харчові волокна, вітамін Е, магній, калій, цинк, марганець. Запропонована узагальнена схема переробки льону олійного, що дасть змогу при комплексному підході одержувати та застосовувати отримані додаткові продукти, що представляють значну цінність у раціоні людини. За результатами комплексної оцінки хімічного складу, функціонально-технологічних і структурно-механічних властивостей обґрунтована рецептура та розроблена технологічна схема отримання халви зі шроту льону олійного, доведена поживна та харчова цінність даного продукту (Воевода & Крючкова, 2019).

Розроблена халва «Алтайська» з додаванням обліпихового шроту (6—7%) містить 11,9% білків, 27,6% клітковини, 370 мг% калію, 1,25 мг% β-каротину. Вона характеризується радіопротекторними властивостями (Сирохман & Лебединець, 2009).

Мета дослідження: дослідження та науково-практичне обґрунтування технології халви підвищеної харчової цінності з додаванням гарбузового насіння, шроту насіння льону та порошку ягід чорниці.

Матеріали і методи. Предметом досліджень є гарбузове насіння, шрот насіння льону, ягоди чорниці та порошок ягід чорниці; халва оздоровчої дії з гарбузовим насінням, шротом насіння льону та порошком ягід чорниці.

Як контрольний зразок було обрано традиційну рецептуру халви із соняшникового насіння (Сирохман & Лебединець, 2009).

У процесі досліджень вихідної сировини, напівфабрикатів і готового продукту — халви оздоровчої дії, використовували загальноприйняті методи досліджень, серед яких титриметричні, спектрофотометричні, рефрактометричні, та проводили органолептичну оцінку. Визначення вмісту жиру в сировині та готовому продукті здійснювали за методикою ДСТУ 5060:2008 «Вироби кондитерські. Методи визначання масової частки жиру».

Вміст вітаміну С у ягодах чорниці визначали з використанням 2,6-дихлорфеноліндофеноляту натрію (Kondratenko, Shevchuk & Levchuk, 2008; Vishnikin, Melnikov, Kolisnychenko, Lystopad & Pidhoma, 2019).

Вміст біофлавоноїдів у ягодах чорниці визначали із застосуванням реактиву Фоліна-Чокальтеу спектрофотометричним методом (Кузьмик, Ющенко, Пасічний & Миколів, 2017; Kondratenko, Shevchuk & Levchuk, 2008).

Вміст каротиноїдів у ягодах чорниці визначали загальновідомим спектрофотометричним методом, екстрагуванням каротину за допомогою органічних розчинників (Vishnikin, Melnikov, Kolisnychenko, Lystopad & Pidhoma, 2019; Maluygina та ін., 2013).

Досліджували вміст харчових волокон у насінні соняшника, гарбузовому насінні та шроті насіння льону. Визначення вмісту клітковини полягає у розкладанні всіх інших органічних речовин концентрованою азотною кислотою в суміші з оцтовою і трихлороцтовою кислотами (Skorobohatyi & Fedorko, 2005; Bashta, Ivchuk & Bashta, 2015).

Дослідження органолептичних показників проведено за вимогами ДСТУ 4683:2006 «Вироби кондитерські. Методи визначення органолептичних показників якості, розмірів, маси нетто і складових частин».

Визначення вологості сировини і готового продукту проводили за методикою ДСТУ 4910:2008 «Вироби кондитерські. Методи визначання масових часток води та сухих речовин».

Визначення кислотності сировини та готового продукту проводили за методикою ДСТУ 5024:2008 «Вироби кондитерські. Методи визначання кислотності та лужності».

Визначення загального вмісту цукру в готовому продукті проводили за методикою ДСТУ 5059:2008 «Вироби кондитерські. Методи визначання цукрів».

Оцінка та розрахунки харчової та біологічної цінностей продукту проводились у табличному редакторі Excel.

Викладення основних результатів дослідження. У табл. 1 представлено вміст поживних речовин, інтегральний скор соняшникової халви за традиційною рецептурою на 100 г продукту.

Таблиця 1. Вміст поживних речовин та інтегральний скор халви за традиційною рецептурою

Показник	Білки	Жири	Вуглеводи	Харчові волокна
Вміст, г (100 г)	12,4	31,8	41,0	3,0
Інтегральний скор, % (100 г)	18,8	45,5	12,6	7,5

Енергетична цінність халви за традиційною рецептурою становить 500 ккал на 100 г продукту.

Актуальним є використання сировини, яка містить велику кількість біологічно активних речовин, це дасть змогу урізноманітнити асортимент халви, яка матиме позитивний вплив на організм людини.

Для виготовлення білкової маси традиційно в Україні використовується соняшникове насіння. Для збагачення халви обрано спосіб комбінування — насіння соняшника частково замінюємо насінням гарбуза та шротом насіння льону. Ці компоненти дають змогу збагатити виріб цінними біологічно активними речовинами, які є дефіцитними в харчуванні населення, покращити жирнокислотний і білковий склад халви.

Так, обрана насіннєва сировина містить значну кількість білків, харчових волокон, має цінний жирнокислотний склад та є джерелом багатьох вітамінів і мінералів (Бочкарев, 2019).

Насіння соняшника містить близько 20% білка, є джерелом клітковини, лецитину, жирних ненасичених кислот, вітаміну Е близько 35 мг на 100 г та ряду інших вітамінів і мінеральних речовин (Бочкарев, 2019).

У складі насіння гарбуза виявлено значну кількість білка (30—35%), жиру (близько 50%), харчових волокон, органічних кислот, каротиноїдів, вітамінів, мінеральних речовин — марганцю, магнію, цинку, заліза (Patel, 2013)).

Насіння льону містить значну кількість білка (близько 27—29%), жиру (30—48%), який є джерелом перш за все гліцеридів лінолевої кислоти (35—45%), лінолевої (25—35%), олеїнової кислоти (15—20%) та містить незначну кількість гліцеридів пальмітинової та стеаринової кислот. Насіння містить вітаміни Е, D, групи В, каротиноїди та мінеральні речовини. Шрот льону, порівняно з насінням, є природним концентратом цінних нутрієнтів, містить більше білка та харчових волокон і менше ліпідів (Коваль & Скрипка, 2017; Kajla, Sharma & Sood, 2015).

Експериментально досліджували вміст білків, клітковини і жиру як основних нутрієнтів у насінні соняшника і гарбуза та шроті з насіння льону (табл. 2).

Таблиця 2. Вміст основних нутрієнтів гарбузового і соняшникового насіння та шроту з насіння льону ($n=3$; $p \geq 0,95$)

Показник	Насіння соняшника	Гарбузове насіння	Шрот з насіння льону
Вміст білків, %	16,8	29,8	32,6
Вміст клітковини, %	5,0	6,0	37,6
Вміст жиру, %	51,5	49,0	10,5

Дані, представлені в табл. 2, підтверджують високий вміст білкових речовин і харчових волокон обраних збагачувачів.

Халва складається з білкової та карамельної мас. Частка білкової маси в халві може складати від 10 до 60% і, відповідно, карамельної — від 20 до 80%.

З метою визначення раціональної комбінації білкових інгредієнтів готували такі зразки халви з насіння соняшника, гарбузового насіння та шроту з насіння льону у 12 різних співвідношеннях. Розрахунковим методом у табличному редакторі Excel оцінювали вміст основних нутрієнтів білкових основ за співвідношень, наведених у табл. 3.

Таблиця 3. Комбінації білкових компонентів

Комбінації білкових компонентів												
Найменування	Співвідношення масових часток білкових компонентів											
Соняшникове насіння	100	70	70	60	60	60	55	55	50	50	40	40
Гарбузове насіння	0	10	20	15	25	20	35	10	15	35	40	30
Шрот насіння льону	0	20	10	25	15	20	10	35	35	15	20	30
Білки, г	20,7	24,0	23,8	26,0	25,0	24,9	25,2	25,8	26,3	25,0	26,1	27,1
Жири, г	52,9	44,0	47,9	41,7	45,6	43,6	47,3	37,7	37,5	45,2	42,9	40,0
Харчові волокна, г	5	11,6	8,5	13,3	10,1	11,7	8,6	15,5	16,6	10,2	11,9	15,1

За співвідношень 40:30:30; 50:15:35; 40:40:20 та 60:15:25 спостерігаємо найбільший вміст білка і значне зростання вмісту харчових волокон.

Далі за цими чотирма співвідношеннями компонентів білкової маси готували зразки халви та досліджували їхні органолептичні та фізико-хімічні показники (табл. 4).

Таблиця 4. Органолептичні та фізико-хімічні показники халви оздоровчої дії за різних співвідношень насіння соняшника, гарбуза та шроту з насіння льону порівняно з нормативами ($n=3$; $p \geq 0,95$)

Назва показника	Халва у співвідношеннях соняшникового, гарбузового насіння та шроту з насіння льону				Згідно з нормативами
	40:30:30	50:15:35	40:40:20	60:15:25	
Смак і запах	Соняшниковий, злегка рибний		Соняшниковий		Притаманний назві халви, без ознак прогірклості, стороннього присмаку та запаху
Колір	Сірувато-коричневий		Жовтувато-сірий		Властивий цьому виду халви
Консистенція	Крихувата, важко розрізається		Легко розрізається, крихувата		Крихувата, легко розрізається
Масова частка вологи, %	3,3	3,1	3,5	3,4	Не більше ніж 4,0
Масова частка жиру, %	23,8	22,9	25,9	25,7	Не менше ніж 25,0

З даних, наведених у табл. 4, видно, що при внесенні шроту насіння льону 30% і більше зразки набувають сірувато-коричневого кольору, у них присутній ледь відчутний рибний запах і смак.

Крім того, за фізико-хімічними показниками зразки за співвідношень соняшникового, гарбузового насіння та шроту з насіння льону (40:30:30; 50:15:35) не відповідають нормам у готовому виробі за вмістом жиру (у готовому продукті має бути не менше 25%).

За співвідношень 40:40:20 та 60:15:25 органолептичні та фізико-хімічні показники відповідають чинним вимогам до виробу. За цих співвідношень вміст білка практично однаковий, а вміст харчових волокон більший у другому варіанті. Тому для подальшої роботи було обрано зразок, що містить 60% соняшникового насіння, 15% — гарбузового та 25% шроту з насіння льону.

За такого співвідношення компонентів зростає кількість білка з 20,7 г до 26 г на 100 г білкової маси халви, а також вміст клітковини з 5 г до 13,3 г, знижується енергетична цінність готового продукту на 16%. При цьому вміст жиру готової халви за такого співвідношення становить 25,7%, що відповідає чинним вимогам до виробу.

Цілком доцільним є збагачення халви рослинною сировиною, що містить у своєму складі поліфенольні сполуки та інші біологічно активні речовини. Поліфеноли є активними антиоксидантами й ефективним захистом від руйнівної дії вільних радикалів, а також дають змогу збільшити термін придатності жиромісних продуктів. Ці сполуки містяться у значних кількостях у ягідній сировині, зокрема в ягодах чорниці.

Експериментально визначено вміст основних біологічно активних речовин, притаманих обраній сировині. У досліджуваних ягодах чорниці встановлено високий вміст антиоксидантів, зокрема аскорбінової кислоти — 57 мг%, вміст біофлавоноїдів — 1985 мг% та каротиноїдів — 1,3 мг%.

У виробництві халви, за рецептурними обґрунтуваннями, всі добавки вносяться на стадії вимішування у вигляді сухих інгредієнтів. Зважаючи на це, для збільшення харчової цінності халви використовували функціональні збагачувачі у вигляді сухих інгредієнтів — порошок ягід чорниці.

Шляхом підбору інгредієнтів та їх комбонування виготовлено та досліджено в лабораторних умовах кілька зразків халви з різним співвідношенням порошка чорниці.

Визначено органолептичні та фізико-хімічні показники зразків із різною кількістю внесення ягідної добавки (табл. 5).

Таблиця 5. Органолептичні та фізико-хімічні показники зразків халви оздоровчої дії з різною кількістю ягідного порошку ($n=3$; $p \geq 0,95$)

Показник	Зразок халви з кількістю внесення ягідного порошку		
	3%	5%	8%
1	2	3	4
Смак і запах	Соняшниковий, з ледь відчутним смаком ягід	Соняшниковий, з легкою кислотною ягід	Соняшниковий, добре відчутний смак ягід
Колір	Сірувато-кремовий	Сірувато-кремовий, із деяким вкрапленням ягід	Сірувато-кремовий з червоними вкрапленнями

1	2	3	4
Консистенція	Крихкувата, легко розрізається, ламка	Крихкувата, легко розрізається, ламка	Крихкувата, легко розрізається, ламка
Масова частка вологи, %	3,4	3,4	3,5
Масова частка жиру, %	25,7	25,5	24,7

При додаванні ягідного порошку в кількості 3% консистенція халви крихкувата, легко розрізається, ламка, але досягнуто незначний ефект збагачення біологічно активними сполуками ягідної сировини.

При внесенні добавки у кількості 5—8% консистенція халви крихкувата, легко розрізається, ламка. Але при 8% та більше вміст жиру в халві становить 24,7%, що відповідає граничним показникам вмістом жиру (не менше 25%).

Отже, аналізуючи отримані дані для виготовлення халви оздоровчої дії, обираємо зразок із вмістом ягідного порошку 5%.

У табл. 6 представлено вміст поживних речовин, інтегральний скор халви оздоровчого призначення на 100 г продукту. Розраховано енергетичну цінність, що склала відповідно 420 ккал. Тобто енергетична цінність халви оздоровчого призначення зменшилася на 80 ккал на 100 г готового виробу порівняно з халвою за традиційною технологією.

Таблиця 6. Вміст поживних речовин та інтегральний скор халви оздоровчої дії

Показник	Білки	Жири	Вуглеводи	Харчові волокна
Вміст, г (100 г)	15,7	25,5	42,8	9,7
Інтегральний скор, % (100 г)	23,8	35,8	13,1	24,3

Проведено порівняння вмісту білків, жирів, вуглеводів і харчових волокон розробленої халви та традиційної. Спостерігаємо підвищення вмісту білків розробленої халви (15,7 г/100 г) порівняно з традиційною — 12,4 г/100 г, і зменшення частки жирів з 31,8 г/100 г до 25,5 г/100 г халви.

Вміст клітковини збільшився більше ніж у 3 рази (з 3 г/100 г до 9,7 г/100 г продукту). Також підвищився вміст мікронутрієнтів у збагаченій халві.

Визначені органолептичні та фізико-хімічні показники халви оздоровчого призначення наведено в табл. 7. Усі показники відповідають нормативним.

Таблиця 7. Органолептичні та фізико-хімічні показники халви оздоровчої дії

Показник	Розроблена халва	Згідно з нормативами
Смак і запах	Соняшниковий, приємний з легкою кислотою ягід	Притаманий назві халви, без ознак прогірклості, стороннього присмаку та запаху
Колір	Сіро-кремовий, із деяким вкрапленням ягід	Властивий цьому виду халви
Консистенція	Крихкувата, легко розрізається	Крихкувата, легко розрізається
Масова частка вологи, %	3,4	Не більше ніж 4,0
Масова частка жиру, %	25,5	25,00—34,00

Висновки

У статті доведена можливість часткової заміни насіння соняшника гарбузовим насінням та шротом насіння льону для підвищення харчової цінності готового виробу. Визначено співвідношення білкових інгредієнтів (насіння соняшника, гарбузового насіння та шроту насіння льону, як 60:15:25 відповідно), за якого максимально зростає кількість білка (в 1,3 раза), клітковини (в 3,2 раза), при цьому енергетична цінність знижується на 80 ккал на 100г готового виробу.

Враховуючи високий вміст антиоксидантів ягід чорниці, зокрема аскорбінової кислоти — 57 мг%, біофлавоноїдів — 1985 мг% та каротиноїдів — 1,3 мг%, запропоновано додавання порошку ягід чорниці до складу халви. Рациональною дозою є внесення порошку чорниці у кількості 5%.

Використання комбінованої білкової основи (насіння соняшника, гарбузового насіння і шроту насіння льону), а також порошку з ягід чорниці у технології халви дає змогу розширити асортимент кондитерських виробів оздоровчого призначення.

Література

- Башта, А. О., Мандзіроха, Г. Я. (2016). Отримання халви оздоровчого призначення. *Харчова промисловість*, 16, 19—24.
- Бочкарев, С. В. (2019). *Технологія білково-жирової суміші підвищеної харчової цінності спеціального призначення*: автореф. (Дис. канд. техн. наук). Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.
- Восвода, Н. Д., Крючкова, В. О. (2019). Розробка технології переробки відходів льону олійного у харчовій промисловості для виробництва халви. *Міжнародний мультидисциплінарний науковий журнал «АГОС»*. *Мистецтво наукової думки*, 8, 60—63. <https://doi.org/10.36074/2617-7064.08.013>.
- Коваль, О. А., Скрипка, Я. І. (2017). Насіння льону — найбагатше джерело біологічно активних речовин. *Young Scientist*, 11(51), 35—37.
- Кузьмук, У. Г., Ющенко, Н. М., Пасічний, В. М., Миколів, І. М. (2017). Визначення вмісту біологічно активних речовин в розроблених композиціях прянощів. *Наукові праці НУХТ*, 23(2), 90—93.
- Сирохман, І. В. & Лебединець, В. Т. (2009). *Асортимент і якість кондитерських виробів*. Київ: Центр учбової літератури.
- Сімахіна, Г. О., Науменко, Н. В. (2016). Харчування як основний чинник збереження стану здоров'я населення. *Проблеми старення и долголетия*, 25(2), 204—214.
- Тележенко Л. М. (2004). *Биологически активные вещества фруктов и овощей и их сохранение при переработке*: монографія. Одесса, Optimum.
- Abd-Elsattar, H., Abdel-Haleem, A. (2020). Quality evaluation of non-traditional halawa tahinia. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2, 41—51.
- Bashta, A., Ivchuk, N., Bashta, O. (2015). Yacon and Scorzonera as functional enrichment of food. *Ukrainian Journal of Food Science*, 3(1), 13—22.
- Belinska, A., Bochkarev, S., Varankina, O., Rudniev, V., Zviahintseva, O., Rudnieva, K., Bielykh, I., & Khosha, V. (2019). Research on oxidative stability of protein-fat mixture based on sesame and flax seeds for use in halva technology. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(101), 6—14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.178908>.
- Catargiu, A. D., Raican, D. D., Poiana, M. A. (2017). Innovative approaches to improve the quality attributes of halva: A review. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 23(4), 188—193.
- Clifford, Tom, Howatson, Glyn, West, Daniel J., Stevenson, Emma J. (2015). The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients*. Apr 14;7(4):2801-22. <https://doi.org/10.3390/nu7042801>.

Elleuch, M., Bedigian, D., Maazoun, B., Besbes, S., Blecker, C., Attia, H. (2014). Improving halva quality with dietary fibres of sesame seed coats and date pulp, enriched with emulsifier. *Food Chemistry*, 145, 765—771, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.085>.

Kajla, P., Sharma, A., Sood, D. R. (2015). Flaxseed — a potential functional food source. *Journal of Food Science and Technology*, 52(4), 57—71. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1293-y>.

Kondratenko, P. V., Shevchuk, L. M., Levchuk, L. M. (2008), *Methods of quality assessment of fruit and berry products*, SPD «Zhyteliey SI», Kyiv.

Malyugina, E. A., et.al. (2013). The study of the carotenoid content in the inflorescences of the spreading marigold. *Current issues in pharmacy and medicine: science and practice*, 3, 89—91.

Muresan, V., Blecker, C., Danthine, S., Racołta, E., Muste, S. (2013). Confectionery products (halva type) obtained from sunflower: Production technology and quality alterations. A review. *Revue de Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 17, 651—659.

Patel, S. (2013). Pumpkin (*Cucurbita* sp.) seeds as nutraceutic: A review on status quo and scopes. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 6(3), 183—189. <https://doi.org/10.3233/s12349-013-0131-5>.

Skorobohaty, Ya., Fedorko, V. (2005), *Chemistry and methods of research of raw materials*. Lviv: Kompakt.

Vishnikin, A., Melnikov, K., Kolisnychenko, T., Lystopad, T., Pidhoma, D. (2019). Development of berry drinks with a high content of ascorbic acid. *Food Science and Technology*, 13(3). Взято з <https://card-file.onaft.edu.ua/handle/123456789/16690>.

RESEARCH OF THE CONTENT OF ANTIBIOTIC RESIDUES IN NATURAL HONEY

L. Adamchuk, H. Postoienko

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
National Science Center "PI Prokopovich Institute of Beekeeping"*

L. Bal-Prylypko, R. Dvykaliuk, A. Antoniv, K. Pylypko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Key words:

*Natural honey
Antibiotics
ELISA
Quality
Safety*

Article history:

Received 15.03.2022
Received in revised form
31.03.2022
Accepted 20.04.2022

Corresponding author:

L. Adamchuk
E-mail:
leonora.adamchuk@
gmail.com

ABSTRACT

Due to the widespread use of honey in the food industry, as a curative and preventive product and raw material with functional properties, researches related to its safety are relevant. According to national and international standards, quality and safety control of honey involves the determination of maximum permissible levels of residues of antibiotics, sulfanilamide drugs, pesticides, heavy metals, radionuclides, GMO pollen. The aim of the study was to determine the content of antibiotic residues in natural honey which will be further processed in the food industry. 300 samples of honey obtained from Ukrainian apiaries in 2019—2021 were analyzed. The content of the residual amount of antibiotics was investigated by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) on the immunoassay analyzer ImmunoChem-2100. In samples of natural honey synthomycin was found in 4.1% of samples, nitrofurantol metabolites — in 3.4%, metronidazole — in 3.3%, sulfathiazole — in 2.3%, streptomycin — in 1.9%, chloramphenicol — in 1.7%, tetracycline — in 0.8%, sulfamethazine — in 0.1%. In 82.3% of the examined honey samples no antibiotic residues were found. Exceedances of permissible levels of antibiotic residues in natural honey samples for further processing in the food industry were found in various quantities: tetracycline — in the range from 2.8 to 89.9 µg/kg, streptomycin — from 1.6 to 23.5 µg/kg, chloramphenicol — from 0.4 to 1.3 µg/kg, AOZ ranges from 0.3 to 0.9 µg/kg, SEM ranges from 0.5 to 4.2 µg/kg, synthomycin ranges from 0.11 to 2.03, sulfathiazole ranges from 13.3 to 250 µg/kg, metronidazole ranges from 0.56 to 2.92 µg/kg, sulfamethazine was found in one sample in the amount 28 µg/kg. The content of antibiotic residues can lead to the removal of honey batches from production, and hence to a reduction in gross output and volume of exports. Among the examined samples of honey with detected antibiotics, the maximum permissible level for quantitative values exceeded 38.9% of samples for chloramphenicol residues, 17.1% for nitrofurantol metabolites, 16.7% for synthomycin, 62.5% for sulfathiazole and 11.4% for metronidazole. Determination of the content of antibiotic residues of other bee products: bee bread, pollen load, propolis, wax will be prospective direction for future studies.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-2-14

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕДУ НАТУРАЛЬНОГО НА ВМІСТ ЗАЛИШКІВ АНТИБІОТИКІВ

Л. О. Адамчук, Г. В. Постоєнко

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Національний науковий центр «Інститут бджільництва ім. П. І. Прокоповича»*

Л. В. Баль-Прилипка, Р. М. Двикалюк, А. Д. Антонів, К. В. Пилипко

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Зважаючи на широке застосування меду в харчовій промисловості як лікувально-профілактичного продукту та сировини з функціональними властивостями, актуальними є дослідження, пов'язані з його безпечністю. Відповідно до національних і міжнародних стандартів контроль якості та безпечності меду передбачає визначення гранично допустимих рівнів залишків антибіотиків, сульфатіамідних препаратів, пестицидів, важких металів, радіонуклідів, пилку ГМО.

У статті визначено вміст залишків антибіотиків у меді натуральному для подальшого перероблення в харчовій промисловості. Матеріалом слугували 300 зразків меду, отриманих з пасік України у 2019—2021 роках. Вміст залишкової кількості антибіотиків досліджували методом імуноферментного аналізу (ІФА) на імуноферментному аналізаторі ІттипоСмет-2100. За результатами дослідження вмісту залишків антибіотиків у зразках меду натурального для подальшого перероблення у харчовій промисловості встановили наявність у синтоміцину в 4,1% зразків, метаболітів нітрофуранів — 3,4, метродіназолу — 3,3, сульфатіазолу — 2,3, стрептоміцину — 1,9, хлорамфеніколу — 1,7, тетрацикліну — 0,8, сульфаметазину — 0,1%. У 82,3% досліджених зразків меду залишків антибіотиків не було виявлено. Перевищення допустимих рівнів залишків антибіотиків у зразках меду натурального для подальшого перероблення у харчовій промисловості знаходили у різних кількостях: тетрацикліну в межах від 2,8 до 89,9 мкг/кг, стрептоміцину — від 1,6 до 23,5, хлорамфеніколу — від 0,4 до 1,3, АОЗ — від 0,3 до 0,9, СЕМ — від 0,5 до 4,2, синтоміцину — від 0,11 до 2,03, сульфатіазолу — від 13,3 до 250, метродіназолу — від 0,56 до 2,92, сульфаметазину — в одному зразку в 28 мкг/кг. Вміст залишків антибіотиків може призводити до бракування партій меду, і, відповідно, до зменшення валового його виробництва й обсягів експорту. Серед досліджуваних зразків меду із виявленими антибіотиками гранично допустимі рівні за кількісними значеннями перевищували 38,9% зразків за залишками хлорамфеніколу, 17,1 — метаболітів нітрофуранів, 16,7 — синтоміцину, 62,5 — сульфатіазолу та 11,4% — метродіназолу. Перспективним надалі буде дослідження на вміст залишків антибіотиків інших продуктів бджільництва — перги, бджолиного обніжжя, прополісу, воску.

Ключові слова: мед натуральний, антибіотики, ІФА, якість, безпечність.

Постановка проблеми. Мед натуральний позиціонується як харчовий продукт з профілактично-лікувальною дією на організм людини, що може використовуватися як сировина для виготовлення страв з підвищеною біологічною цінністю. Мед натуральний також включено у рекомендації ВООЗ щодо запобігання Ковід-19. Проте цінним цей продукт може бути лише за дотримання вимог безпечності та якості під час його виробництва, первинної обробки та подальшого

перероблення. Зважаючи на широке застосування меду в харчовій промисловості, актуальним є всебічне дослідження безпечності як готового продукту, так і сировини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відповідно до національних і міжнародних стандартів, контроль якості та безпечності меду, крім органолептичних та фізико-хімічних показників, передбачає також визначення гранично допустимих залишків антибіотиків, сульфаніламідних препаратів, пестицидів, важких металів, радіонуклідів, пилку ГМО та інших контамінантів (Постоєнко, Лазарева & Яремчук, 2019; Хамід та ін., 2020).

Неодноразово порушуються питання гармонізації чинних вимог до меду натурального з країнами ЄС (Сілонова, Пилипко, Сухенко & Адамчук, 2020). Відповідно до ДСТУ 4497:2005 Мед натуральний. Технічні умови в меді не допускається вміст тетрацикліну та стрептоміцину. Регламентується вміст левоміцетину (хлорамфенікол) у кількості не більше ніж 0,3 мкг/кг, нітрофурану за АОЗ 0,6 мкг/кг та АМОЗ 0,6 мкг/кг.

Згідно з чинним законодавством Європейської Співдружності, зокрема Регламенту (ЄС) № 853/2004 (Додатку 1, Розділу 8, п. 8.1.), мед віднесено до «продукції тваринного походження. Водночас вміст антибіотиків у цьому Регламенті визначається тільки щодо сирого молока. Проте зазначений Регламент посиляється на Директиву 96/23/ЄС (35), у якій йдеться про мед (стаття 5, частина 2) і вимоги до його безпечності та якості, включно й до вмісту залишків антибіотиків (Додаток 2, с. 25).

Регламент (ЄС) 2019/6 визначає порядок використання лікарських засобів і вказує, що антибіотики не треба застосовувати для профілактики захворювань, крім як у виняткових випадках, лише для введення деяким сім'ям бджіл. Також пересічний пасічник не може придбати антибіотики без висновку ветеринарного лікаря. Все це запобігає потраплянню антибіотиків у мед як харчовий продукт чи сировину в країнах ЄС. Директива Ради 2001/110/ЄС про мед не містить вимог щодо вмісту антибіотиків.

Однак в Україні не має чіткого нагляду за реалізацією та застосуванням антибіотичних лікарських препаратів. Антибіотики потрапляють у мед різними шляхами, переважно це залишки ветеринарних препаратів, якими обробляють бджіл з профілактичною та лікувальною метою (Kumar, Gill, Bedi & Chhuneja, 2020). Також антибіотики у продукцію бджільництва можуть потрапляти через недотримання ветеринарно-санітарних вимог утримання бджіл, зокрема розміщення пасік біля фармацевтичних підприємств, тваринницьких ферм, сміттєзвалищ (Vonerba et al., 2021). Причиною забруднення антибіотиками меду також може бути вода (Lima et al., 2020). Дослідженням антибіотиків у меді в Україні займаються науковці (Мягка, Єфіменко & Односум, 2020; Мягка, Костюк & Лінійчук, 2021) та приватні лабораторії в межах підприємств, що експортують продукт.

Мета дослідження: визначення вмісту залишків антибіотиків у меді натуральному для подальшого перероблення в харчовій промисловості.

Матеріали і методи. Матеріалом слугували 300 зразків меду, отриманих з пасік України у 2019—2021 роках. Отримані зразки меду ідентифіковано як мед натуральний для подальшого перероблення в харчовій галузі. Дослідження проводили на базі лабораторії факультету харчових технологій та управління якістю

продукції АПК Національного університету біоресурсів і природокористування України та виробничої лабораторії ТОВ «Асканія Пак», яка має найбільші потужності в Україні з перероблення та експорту меду.

Відбір зразків здійснювали стандартизованим методом (ДСТУ 4497:2005 Мед натуральний. Технічні умови). Вміст залишкової кількості антибіотиків досліджували методом імуноферментного аналізу (ІФА) на імуноферментному аналізаторі ImmunoChem-2100 (Кляп та ін., 2020). Досліджували хлорамфенікол, синтоміцин, тетрациклін, стрептоміцин, сульфатіазол, сульфаметазин метронідазол та нітрофурані (Max Signal® Nitrofurazon (SEM) та Max Signal® Furazolidone (AOZ)). Отримані результати статистично опрацьовували з використанням операторів Excel.

Викладення основних результатів дослідження. У результаті проведених досліджень залишки антибіотиків знайшли в 53 зразках. Залишки тетрацикліну було виявлено у 8 зразках у межах від 2,8 до 89,9 мкг/кг меду (рис. 1).

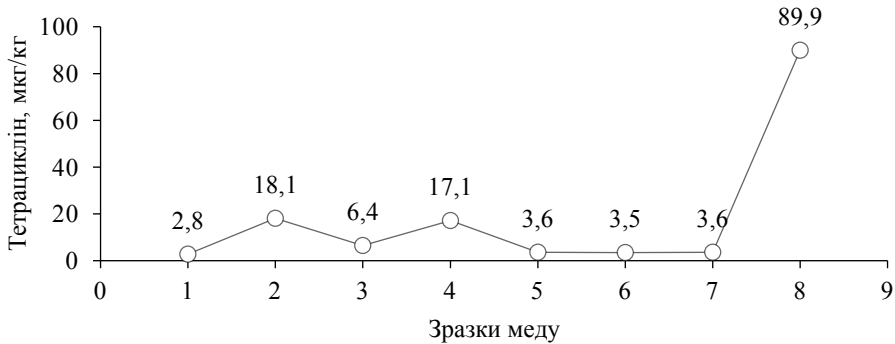


Рис. 1. Вміст залишків тетрацикліну в міді, мкг/кг

З них два зразки також містили стрептоміцин. Загалом, з усіх досліджених 300 зразках стрептоміцин знаходили у 20 з них, вміст якого коливався у межах від 1,6 до 23,5 мкг/кг меду (рис. 2).

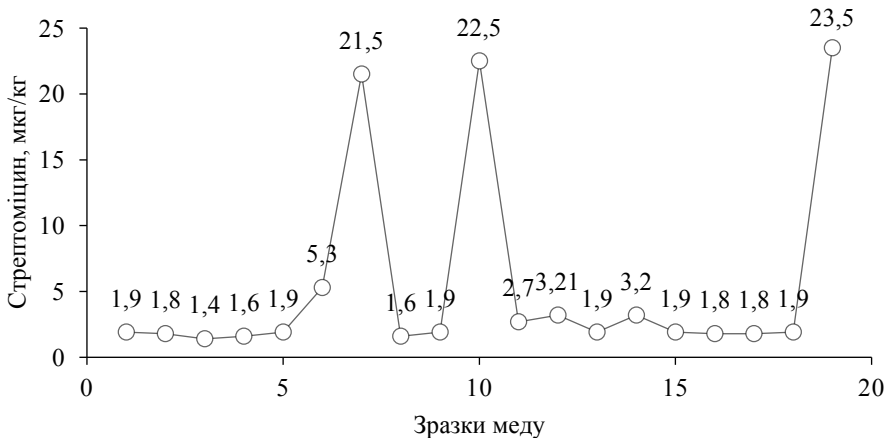


Рис. 2. Вміст залишків стрептоміцину в міді, мкг/кг

Отже, вже за першими результатами дослідження 20 з проаналізованих зразків не можуть бути допущені до використання в харчовій галузі України через наявність залишків антибіотиків, заборонених згідно з ДСТУ 4497:2005 Мед натуральний. Технічні умови.

Залишки хлорамфеніколу було виявлено у 18 зразках меду, з них 11 зразків — в межах норми згідно з національним стандартом (один зразок — 0,19 мкг/кг, інші 10 зразків — менше ніж 0,1 мкг/кг). Серед 7 зразків вміст залишків хлорамфеніколу перевищував гранично допустимі рівні і був у межах від 0,4 до 1,3 мкг/кг (рис. 3).

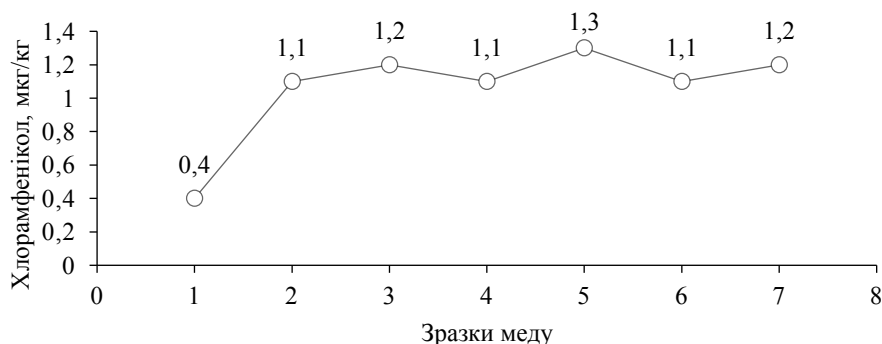


Рис. 3. Вміст залишків хлорамфеніколу в міді, мкг/кг

За вмістом залишків хлорамфеніколу 7 із 300 зразків не можуть бути допущені до використання в харчовій промисловості. Нітрофурани досліджували двома тест-системами на вміст метаболітів фуразолідону (2-Аміно-3-оксазолідинон (АОЗ)) та нітрофуразону (фурациліну) (семикарбазид (СЕМ)). Загалом у 35 зразках були знайдені метаболіти нітрофуранів, з них фуразолідону — у 19, нітрофуразону — у 28, у 12 зразках було знайдено обидві сполуки. У 6 зразках нітрофурани перевищували норми держстандарту (рис. 4).

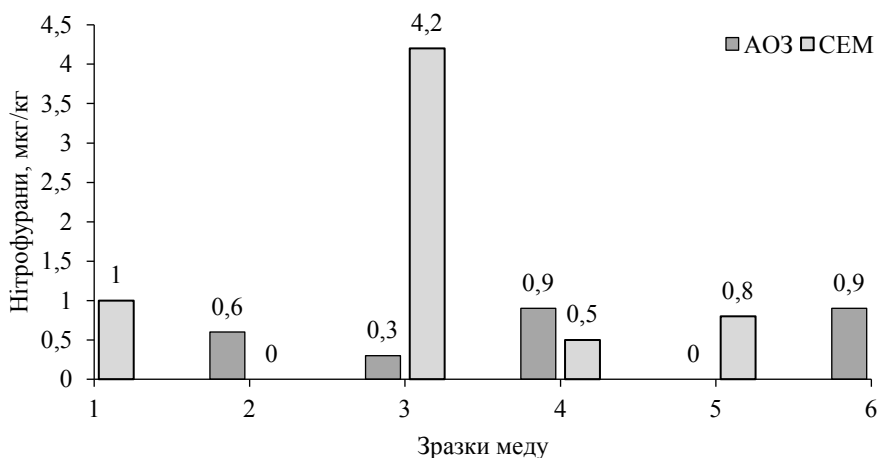


Рис. 4. Вміст залишків нітрофуранів у міді, мкг/кг

АОЗ у зразках меду був у межах від 0,3 до 0,9 мкг/кг, СЕМ — від 0,5 до 4,2 мкг/кг, що вказує на непридатність цих 6 зразків для подальшого перероблення в харчовій галузі.

Для реалізації та перероблення меду в Україні проведених досліджень достатньо. Однак якщо партію меду формують на експорт в країни ЄС, то необхідні результати випробувань ще за синтоміцином (одна із субстанцій на основі хлорамфеніколу), сульфатіазолу, сульфаметазину та метронідазолу. Це пов'язано із розбіжностями в національних та міжнародних нормативних документах.

Із 300 зразків меду синтоміцин було виявлено у 42, з них у 35 — в межах вимог чинного законодавства (не більше ніж 0,1 мкг/кг), 7 — не відповідали прийнятим нормам (рис. 5).

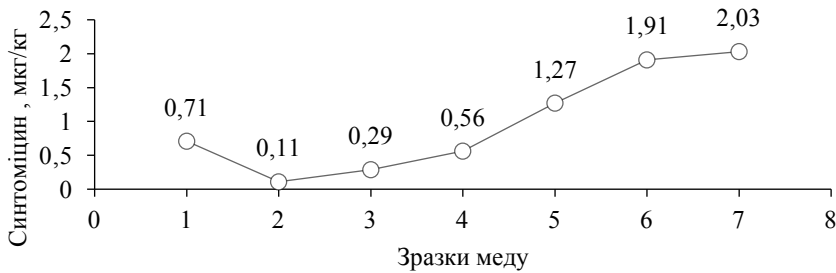


Рис. 5. Вміст залишків синтоміцину в меді, мкг/кг

Сульфаметазин (синонім сульфадимідин) практично не використовують на практиці, через його значний перелік побічних дій та короткотривалий ефект (National Library of Medicine). У досліджених зразках меду сульфаметазин було виявлено лише в одному зразку в кількості 28 мкг/кг. Варто зазначити, що цей же зразок містив й інші антибіотики, зокрема заборонені тетрациклін (2,8 мкг/кг), стрептоміцин (5,3 мкг/кг) та АОЗ (0,3 мкг/кг). Імовірно, це може вказувати, що мед отримано від хворих бджолосімей або пасіка розташовується поблизу тваринницької ферми.

Залишки сульфатіазолу було виявлено у 24 зразках меду, з яких 9 — були в межах вимог (не більше ніж 2 мкг/кг), 4 — мали завищений вміст антибіотику — понад 250 мкг/кг (не були враховані в середній вибірці), 11 зразків — у межах від 13,3 до 45,7 мкг/кг (рис. 6).

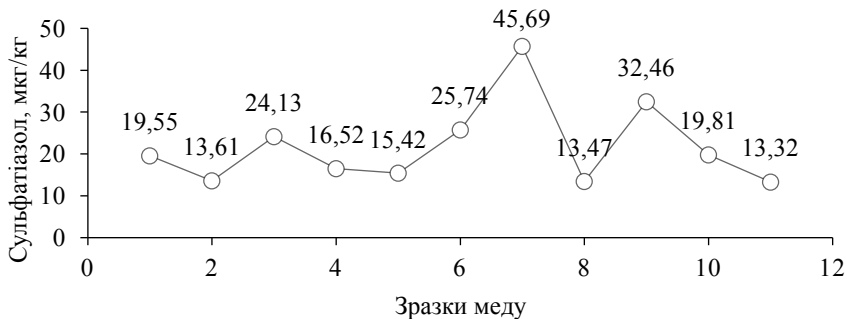


Рис. 6. Вміст залишків сульфатіазолу в меді, мкг/кг

Метронідазол було виявлено у 34 зразках меду, з них 30 можливо допускати до перероблення (допустимий вміст не більше ніж 0,5 мкг/кг), у 4 зразках був у межах від 0,56 до 2,92 мкг/кг (рис. 7).

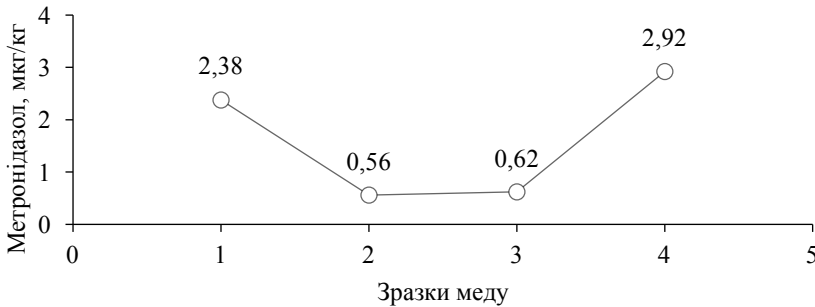


Рис. 7. Вміст залишків метронідазолу в меду, мкг/кг

У результаті проведених досліджень встановили, що у 17,7% меду, який надходить для подальшого промислового перероблення, містилися залишки антибіотиків, у 82,3% зразків — не було виявлено (рис. 8).

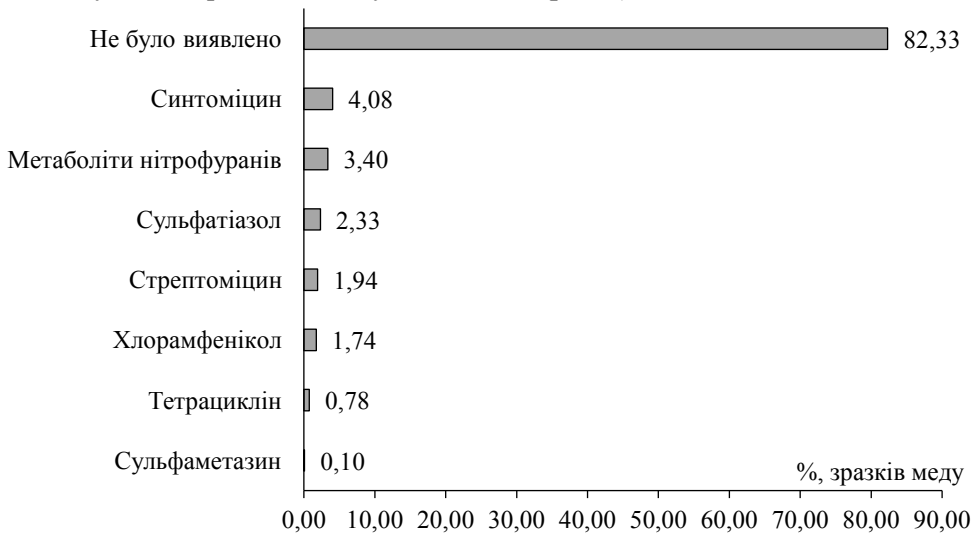


Рис. 8. Відсоткове співвідношення зразків меду із залишками антибіотиків

Найчастіше виявляли синтоміцин, що є однією із субстанцій хлорамфеніколу, у такий спосіб за діючою речовиною їх можна сумувати до 5,8%. Імовірно, причиною є те, що цей антибіотик часто використовують у бджільництві проти інфекційних захворювань. Однак, згідно з Наказом № 9 від 30.01.2001 «Про затвердження Інструкції щодо попередження та ліквідації хвороб бджіл», мед з пасік, вражених інфекційними захворюваннями, та після обробок ветеринарними препаратами не реалізують. Також для зменшення вмісту залишків хлорамфеніколу вчені рекомендують замінити спосіб обробки бджіл з напування до аерозольної (Мягка, Єфіменко & Односум, 2020).

Встановили, що метаболіти нітрофуранів (АОЗ та СЕМ) також переважають поміж інших залишків антибіотиків у зразках меду, що, ймовірно, пов'язано із їхнім широким застосуванням у тваринництві. Про це свідчать дослідження харчових продуктів тваринного походження (Іванова, Галкін, Иванова, & Галкин, 2017). Зважаючи на це, треба переглянути методи лікування бджіл та виключити нітрофурани з використання у боротьбі із захворюваннями. Задля контролю безпечності меду вченими розробляються та впроваджуються й інші методи визначення залишків метаболітів нітрофуранів (АОЗ, АМОЗ, АНД та СЕМ) (Янович та ін., 2017).

Окрім оцінювання безпечності продукту, вміст залишків антибіотиків може призводити до відбракування партій меду, і, відповідно, до зменшення валового його виробництва та обсягів експорту. Так, поміж досліджуваних зразків меду із виявленими антибіотиками були такі, що не перевищували гранично допустимі рівні за кількісними значеннями (рис. 9).



Рис. 9. Графічне відображення кількості зразків з виявленими залишками антибіотиків

Так, зразки меду з виявленими залишками тетрацикліну, стрептоміцину та сульфаметазину були повністю вилучені з виробництва. Поміж інших, 38,9% зразків було вилучено через перевищення вмісту залишків хлорамфеніколу, 17,1 — метаболітів нітрофуранів, 16,7 — синтоміцину, 62,5 — сульфатіазолу та 11,4% — метродіназолу.

Висновки

За результатами дослідження вмісту залишків антибіотиків у 300 зразках меду натурального для подальшого перероблення у харчовій промисловості встановлено наявність синтоміцину в 4,1% зразків, метаболітів нітрофуранів — 3,4,

метродіназолу — 3,3, сульфатіазолу — 2,3, стрептоміцину — 1,9, хлорамфеніколу — 1,7, тетрацикліну — 0,8, сульфаметазину — 0,1%. У 82,3% досліджених зразків меду залишків антибіотиків виявлено не було.

Перевищення допустимих рівнів залишків антибіотиків у зразках меду натурального для подальшого перероблення в харчовій промисловості знаходили у різних кількостях: тетрацикліну — в межах від 2,8 до 89,9 мкг/кг, стрептоміцину — від 1,6 до 23,5, хлорамфеніколу — від 0,4 до 1,3, АОЗ — від 0,3 до 0,9, СЕМ — від 0,5 до 4,2, синтоміцину — від 0,11 до 2,03, сульфатіазолу — від 13,3 до 45,7, метродіназол — від 0,56 до 2,92, сульфаметазину — в одному зразку в 28 мкг/кг.

Перспективним надалі буде дослідження на вміст залишків антибіотиків інших продуктів бджільництва — перги, бджолиного обніжжя, прополісу, воску.

Література

Іванова, О. М., Галкін, О. Ю., Иванова, О. М., & Галкин, А. Ю. (2017). Порівняльна характеристика фізико-хімічних і біохімічних методів визначення метаболітів нітрофуранів у продуктах харчування. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*, 3, 109—118. <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2017.3.100683>.

Кляп, Н. І., Крачковська, О. О., Маслюк, А. В., Мостіпан, К. С., & Київська, Г. В. (2020). Контроль вмісту залишкових кількостей антибіотиків у продуктах тваринного походження. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 2, 187—193. <https://doi.org/10.31210/visnyk.2020.02.23>.

Мягка, К. С., Костюк, М. В., & Лінійчук, Н. В. (2021). Моніторинг залишків ветеринарних препаратів у меді за 2019–2021 роки. Інноваційний розвиток сучасної науки: нові підходи та актуальні дослідження. Матеріали науково-практичної конференції (м. Запоріжжя, 26—27 березня 2021 р.). Херсон: Видавництво «Молодий вчений», 2021, 81—84. Доступно за посиланням: <http://molodyvcheny.in.ua/files/conf/other/56march2021/56march2021.pdf#page=81>.

Мягка, К., Єфіменко, Т., & Односум, Г. (2020). Уміст антибіотиків у меді за умови обробки ними бджолиних сімей. *Вісник аграрної науки*, 98(4), 49—53. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202004-07>.

Постосенко, В. О., Лазарева, Л. М., & Яремчук, О. С. (2019). Основні показники оцінки якості і безпечності меду бджолиного в Україні та їх гармонізація з вимогами ЄС. *Wscho-dnioeuropejskie Czasopismo Naukowe* (East European Scientific Journal). 2019, 12(52), 14—21. (Warsaw, Poland). Доступно за посиланням: <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/23367.pdf>.

Сілонова, Н. Б., Пилипко, К. В., Сухенко, В. Ю., & Адамчук, Л. О. (2020). Нормативне регулювання показників безпечності та якості меду. *Animal Science and Food Technology*, 11(3), 5—18. <https://doi.org/10.31548/animal2020.04.005>.

Хамід, К., Пушкар, Т., & Гурко, Є. (2020). Сучасні проблеми якості та безпечності меду натурального. *Аграрний вісник Причорномор'я*, 96, 77—83. <https://doi.org/10.37000/abbsl.2020.96.09>.

Янович, Д. В., Засадна, З. С., Ридчук, М. В., Федякова, О. І., & Кіслова, С. М. (2017). Застосування методу ВЕРХ-МС/МС для одночасного кількісного визначення метаболітів нітрофуранів у зразках меду. Науково-технічний бюлетень Державного науково-дослідного контрольного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок і Інституту біології тварин, 18(1), 291—300. Взято з: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Ntibbt_2017_18_1_50.pdf.

Bonerba, E., Panseri, S., Arioli, F., Nobile, M., Terio, V., Di Cesare, F., Tantillo, G. & Chiesa, L. M. (2021). Determination of antibiotic residues in honey in relation to different potential sources and

relevance for food inspection. *Food Chemistry*, 334, 127575. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127575>.

Kumar, A., Gill, J. P. S., Bedi, J. S., & Chhuneja, P. K. (2020). Residues of antibiotics in raw honeys from different apiaries of Northern India and evaluation of human health risks. *Acta Alimentaria*, 49(3), 314—320. <https://doi.org/10.1556/066.2020.49.3.10>.

Lima, C. M. G., Dalla Nora, F. M., Seraglio, S. K. T., da Silva, J. M., Marzoque, H. J., Santana, R. F., Verruck, S. & Scussel, V. M. (2020). Antibiotic residues in honey: a public health issue. *Research, Society and Development*, 9(11), e1739119604. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9604>.

Sulfamethazine (Compound). PubChem — National Library of Medicine. National Institutes of Health. Department of Health and Human Services. Application date: 29.04.22. Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sulfamethazine>.

STUDY OF THE INFLUENCE OF A PHYTOCOMPOSITION WITH ANTIOXIDANT PROPERTIES ON COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF YOGURT QUALITY

I. Goyko, N. Stetsenko

National University of Food Technologies

Key words:

Yogurt
Vegetable raw materials
Mint
Nettle
Chamomile
Antioxidants
Quality
Safety

Article history:

Received 09.03.2022
Received in revised form
23.03.2022
Accepted 15.03.2022

Corresponding author:

I. Goyko
E-mail:
irina_goyko@ukr.net

ABSTRACT

The article presents the results of the study of phytocomposition from plant medicinal raw materials in order to enrich yogurt. Its impact on the complex quality indicator of yogurt was analyzed. Medicinal plant raw materials contain a complex of biologically active compounds in their natural ratio, which helps to normalize metabolism, excretion of toxic metabolites, slow the development of atherosclerosis and related complications.

Mint (*Menthapiperita*), nettle (*Urtica*), and chamomile (*Matricaria chamomilla*) were chosen as plant raw materials. Modes of obtaining extracts from selected raw materials were developed, namely: ratio of raw materials: extractant — 1:20, temperature 55—60°C, extraction time 50—55 min and their sensory and physicochemical properties were investigated. The antioxidant properties of the obtained extracts were studied. The extracts have antioxidant properties, which are reduced in the following order: nettle extract → mint extract → chamomile extract.

On the basis of the obtained extracts the phytocomposition for yogurt enrichment was developed. A study of the effect of the developed model samples on milk fermentation was conducted to determine the amount of phytocomposition to be added to the milk base. It is recommended to add the phytocomposition in the amount of 10—15%.

The complex indicator of quality of the obtained yogurt was calculated, which included the following groups of indicators: sensory evaluation — Ra, physico-chemical parameters — Rb, nutritional and biological value — Pc.

The obtained data show the influence of phytocomposition on the complex evaluation of yogurt. Thus, the complex index of yogurt with phytocomposition is 0.99, control sample — 0.79.

The use of the obtained phytocomposition in the production of yogurts allows to expand the range of antioxidant sour milk drinks.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФІТОКОМПОЗИЦІЇ АНТИОКСИДАНТНОЇ ДІЇ НА КОМПЛЕКСНУ ОЦІНКУ ЯКОСТІ ЙОГУРТУ

І. Ю. Гойко, Н. О. Стеценко

Національний університет харчових технологій

У статті наведено результати дослідження фітокомпозиції з рослинної лікарської сировини з метою збагачення йогурту та проаналізовано її вплив на комплексний показник якості отриманого йогурту. Лікарська рослинна сировина містить комплекс біологічно активних сполук (БАР) в їх природному співвідношенні, що сприяє нормалізації обміну речовин, виведенню з організму токсичних метаболітів, уповільненню розвитку атеросклерозу і пов'язаних з ним ускладнень.

Як рослинну сировину обрано м'яту (*Menthapiperita*), кропиву дводомну (*Urtica*), ромашку аптечну (*Matricaria chamomilla*). Визначено режими отримання екстрактів із обраної сировини. Так, співвідношення сировина: екстрагент складає 1:20, температура 55—60°C, час екстрагування 50—55 хв. Досліджено органолептичні та фізико-хімічні властивості отриманих екстрактів. Проведено дослідження антиоксидантних властивостей отриманих екстрактів. Показано, що отримані екстракти володіють антиоксидантними властивостями, які знижується у ряді: екстракт кропиви → екстракт м'яти → екстракт ромашки.

На основі отриманих результатів розроблено фітокомпозицію для збагачення йогурту. Для встановлення кількості внесення фітокомпозиції до молочної основи проведено дослідження впливу розроблених модельних зразків на сквашування молока. На основі аналізу експериментальних даних рекомендовано використовувати фітокомпозицію у кількості 10—15%.

Розроблено комплексний показник якості отриманого йогурту, в який увійшли такі групи показників: органолептична оцінка P_a , фізико-хімічні показники P_b , харчова цінність P_c .

Отримані дані показують вплив фітокомпозиції на комплексну оцінку йогурту. Так, комплексний показник йогурту із фітокомпозицією — 0,99, контроль — 0,79. Використання отриманої фітокомпозиції у виробництві йогуртів дає змогу розширити асортимент кисломолочних напоїв антиоксидантного спрямування.

Ключові слова: йогурт, рослинна сировина, м'ята, кропива, ромашка, антиоксиданти, якість, безпечність.

Постановка проблеми. Одним з перспективних напрямків розвитку харчової промисловості є створення продуктів з антиоксидантними властивостями. Вплив на організм людини різноманітних несприятливих чинників навколишнього середовища активізує окислювальний стрес, тому для уповільнення цього процесу доцільно вживати харчові продукти антиоксидантного спрямування. Кисломолочні продукти належать до найбільш цінних продуктів у харчовому і біологічному

відношенні та рекомендовані для щоденного споживання людиною, бо легко засвоюються організмом, стимулюють секреторну діяльність, нормалізують перистальтику кишечника, покращують процес травлення, сприятливо впливають на засвоєння харчових речовин, підвищують тонус та опірну функцію організму. Особливо перспективним напрямом є комбінування молочної основи із сировиною рослинного походження.

Відомо, що рослинна сировина проявляє антиоксидантні властивості завдяки вмісту біоантиоксидантів: вітамінів, біофлавоноїдів, дубильних речовин, фенольних сполук, каротиноїдів, аскорбінової кислоти, органічних кислот тощо (Максютина, Мойбенко & Мохарт, 2012). Використовувати лікарську рослинну сировину, що має антиоксидантні властивості, як функціональні збагачувачі харчових продуктів актуально і доцільно (Сімахіна, 2021).

Розроблені нові харчові продукти повинні мати високі органолептичні, фізико-хімічні властивості, а також бути якісними і безпечними.

Одним із важливих моментів у процесі створення та впровадження збагачених кисломолочних напоїв є вибір науково обґрунтованих підходів до оцінки їх якості. Якість і безпечність харчових продуктів є важливим питанням, що нерозривно пов'язане зі здоров'ям суспільства у всіх країнах світу. Згідно із законом України «Про безпечність та якість харчових продуктів» якість та безпечність харчового продукту — це сукупність досконалості його властивостей та характерних рис, які здатні задовольнити потреби та побажання тих, хто споживає або використовує цей продукт. Якість харчового продукту, зокрема йогурту, є поняттям комплексним і охоплює цілу низку ознак. Максимально врахувати важливі характеристики виробів можливо шляхом визначення їх комплексного показника якості, що останнім часом набуває широкого застосування та дає змогу здійснювати більш обґрунтований вибір конкурентоспроможної продукції (Крайнюк, Крутовий & Касілова, 2015; Олійник, Степанькова & Шидакова-Каменюка, 2019; Омельченко & Губа, 2009). Тому необхідно комплексно оцінювати якість харчових продуктів, зокрема безпечність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На молочному ринку України практично відсутні молочні продукти із підвищеною антиоксидантною активністю. Численними дослідженнями доведено роль антиоксидантів в інактивації вільних радикалів, що викликають різні патологічні процеси в організмі людини. В працях (Bjorklund & Chirumbolo, 2017; Lobo, Phatak & Chandra, 2010) досліджено роль окисного стресу та антиоксидантів у харчуванні людини. Окислювальний стрес відіграє важливу роль у виникненні та розвитку широкого кола патологічних процесів і захворювань. Роль окисного стресу у розвитку серцево-судинних захворювань досліджували (Черська, Кухарчук & Гайова, 2021; Smith, 2018), онкологічних захворювань (Дружина, Дьоміна & Маковецька, 2019), хвороб нервової системи, у процесах старіння та розвитку хвороби Альцгеймера (Veurink, Perry & Singh, 2020; Singh, Deshpande & Gogia, 2019). Але в цих дослідженнях показано механізм дії вільнорадикальних процесів, формування оксидативного стресу, а не застосування антиоксидантів у розроблених нових харчових продуктів. Особлива роль інактивації вільних радикалів відводиться вітамінам С, Е, групи В, каротиноїдам, флавоноїдам, антоціанам (Polumbryk, Ivanov &

Polumbryk, 2013; Carlsen та ін., 2010), тому необхідність використання антиоксидантів і продуктів з їх використанням постійно зростає.

Методологічним інструментом визначення комплексного показника якості є кваліметрія. Ця методика дає змогу оцінити практично будь-які властивості продукту із заданим ступенем точності. Особливо широке застосування цей метод знаходить під час розробки нових видів харчових продуктів.

Застосування комплексної оцінки якості проводили стосовно зернових хлібців (Mardar, Zhygunov & Znachek, 2016), інноваційної гарячої солодкої страви суфле з позиції фізіологічних потреб організму дитини дошкільного віку (Dietrich, Kuzmin & Mikhailenko, 2017), фаршу варених ковбас в процесі шприцювання (Топольник, Мілохова & Кузьмін, 2013), кексів з додаванням пивної дробини та білоковмісної сировини (Валевська, Дзюба, Землякова & Євдокимова, 2018), плавлених сирних продуктів функціонального спрямування (Машта, 2011) тощо.

Вищенаведене свідчить про перспективність використання кваліметричного методу для оцінки якості нового виду йогурту, збагаченого фітокомпозицією із лікарської рослинної сировини.

У зв'язку з розробленням конкурентоспроможної технології виробництва йогурту, збагаченого фітокомпозицією із рослинної лікарської сировини, що володіє антиоксидантними властивостями, визначення якості та безпечності є актуальним напрямком.

Мета дослідження: розроблення фітокомпозиції з лікарської рослинної сировини антиоксидантної дії та визначення її впливу на якість йогурту.

Матеріали і методи. Для розроблення фітокомпозиції, за літературними даними, було виділено ряд перспективних видів рослинної сировини із загальнозміцнюючою, антиоксидантною та заспокійливою діями, наявністю цінних БАР, що позитивно впливають на імунний стан людини, зокрема м'яту перцеву (*Mentha piperita*), кропиву дводомну (*Urtica*), ромашку аптечну (*Matricaria chamomilla*).

Обрану рослинну сировину використовували у вигляді екстрактів. Як екстрагент використовували воду, яка сприяє кращому сепаруванню тканин сировини, а також дає змогу переходити в розчин БАР. Крім того, для збагачення молочних продуктів дозволяється використання лише водних екстрактів.

Співвідношення сировина:екстрагент варіювали від 1:5 до 1:40. Водні екстракти з рослинної сировини готували однократним екстрагуванням водою при температурі 40...80°C протягом 20...50 хвилин. Вміст фенольних сполук визначали спектрофотометрично з використанням реактиву Фоліна-Деніса (Романова & Ковальов, 2009), аскорбінової кислоти — титруванням барвником Тильманса (ДФУ, 2016), вміст дубильних речовин проводили комплексонометричним методом (ДФУ, 2016), органічні кислоти, в перерахунку на яблучну — титриметричним методом (ДФУ, 2014), вміст каратоноїдів — спектрофотометрично (Мусієнко, Паршикова & Славний, 2001).

Для оцінки антиокислювальних властивостей (АОА) рослинної сировини був обраний метод, який ґрунтується на різниці окисно-відновлювального потенціалу (ОВП) в неактивованих неорганічних розчинах і складних біохімічних середовищах (Гойко, 2013).

Експериментальні зразки отримували за класичною технологією виробництва йогурту.

Для оцінювання впливу фітокомпозиції на якість і безпечність йогурту застосовували комплексний показник, що ґрунтується на методах кваліметрії, адже якість є складною ієрархічною структурою, на верхньому рівні якої є найбільш узагальнені його властивості, а на нижніх — групи, підгрупи й окремі властивості (Мінорова та ін. 2020; Niemirich, Kuzmin & Zychuk, 2018). У загальний комплексний показник якості увійшли такі групи показників: органолептична оцінка РА, фізико-хімічні показники РВ, харчова та енергетична цінність РС. Органолептичні оцінки (РА) отримували за 50-бальною шкалою із залученням експертної групи, фізико-хімічні показники (РВ) здійснювали за ДСТУ ISO 11869:2007 «Йогурт. Визначення титрованої кислотності потенціометричним методом»; масову частку сухих речовин — за ДСТУ 8552:2015 «Молоко та молочні продукти. Методи визначення вологи та сухої речовини», харчову та енергетичну цінність (РС) встановлювали розрахунковим методом.

Дослідження проводили тричі, також проводили статистичне оброблення результатів. Імовірними вважались зміни при $P \leq 0,05$.

Викладення основних результатів дослідження. Експериментально досліджено режими екстракції, зокрема співвідношення сировина: екстрагент 1:20, температура 55—60°C, час екстрагування 50—55 хв. При співвідношенні 1:10 та 1:15 процес екстрагування майже не відбувається, бо рослинна сировина повністю поглинає воду. Дослідження також показали, що підвищення температури екстрагенту сприяє збільшенню виходу екстрактивних речовин. Однак підвищення її вище 55°C може руйнувати БАР, що входять до складу екстрактивних речовин сировини. Одержані зразки рідких екстрактів упарювали в роторному випарнику до втрати в масі під час висушування не більше 25%.

В отриманих екстрактах досліджували БАР, органолептичні, фізико-хімічні властивості. Отримані дані наведено в табл. 1, 2.

Таблиця 1. Вміст БАР отриманих екстрактів

Найменування	Вміст показників, %					
	Вітамін С, мг/100 г	Флавоноїди в перерахунку на рутин, %	Дубильні речовини в перерахунку на танін, %	Органічні кислоти, в перерахунку на яблучну, %	Каратоноїди, мг/100 г	АОА, мВ/100 г
М'ята	0,59±0,03	2,17±0,04	0,19±0,02	0,4	9,8	178
Кропива	0,94±0,01	1,12±0,03	0,2±0,02	0,7	8,5	183
Ромашка	0,48±0,04	1,7±0,03	0,12±0,01	1,7	5,3	174

Показано, що найбільший вміст вітаміну С визначено в екстракті кропиви (0,94±0,01 мг/100 г), а найменший — у ромашці (0,48±0,04 мг/100 г). Найбільший вміст флавоноїдів визначено в м'яті (2,17±0,04%), а найменший — у кропиві (1,12±0,03%). За вмістом каратоноїдів перше місце займає екстракт м'яти (9,8 мг/100 г). Антиокислювальна активність практично не відрізняється та знижується у ряді: екстракт кропиви → екстракт м'яти → екстракт ромашки. Наведені дані показують, що отримані екстракти володіють антиоксидантними властивостями.

Таблиця 2. Показники якості екстрактів рослинної сировини

Найменування показника	Значення та характеристика показника для екстракту із		
	листя кропиви	трави м'яти	квітів ромашки
Органолептичні показники			
Запах	Аромат, притаманний кропиви	Свіжий, з нотками м'яти	Слабо виражений аромат квітів ромашки
Зовнішній вигляд і консистенція	Однорідна, напівпрозора рідина із слабким специфічним запахом	Однорідна, напівпрозора рідина із слабким м'ятним запахом	Однорідна, напівпрозора рідина із слабким специфічним запахом
Колір	Зелений з легким коричневим відтінком	Світло-зелений	Світло-жовтий з коричневим відтінком
Смак	Приємний, трав'янистий, властивий цьому виду рослинної сировини	Гармонійний, освіжаючий, з пряними нотками	Гармонійний, характерний для цієї рослинної сировини
Фізико-хімічні показники			
Активна кислотність, од. рН	5,8	5,8	5,7
СР	25,0	24	25

З табл. 2 видно, що всі екстракти мають гарні органолептичні властивості. Для розроблення фітокомпозиції, за органолептичними показниками, встановили оптимальне співвідношення екстрактів — 1:1:1.

На основі літературних даних та експериментальних досліджень виготовляли модельні зразки йогурту із різним вмістом фітокомпозиції із екстрактами рослинної сировини (5%; 10%; 15%). Як контроль було взято йогурт без добавок.

Досліджували вплив вмісту фітокомпозиції на процес сквашування молока. Отримані дані наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Динаміка зміни показника титрованої кислотності модельних зразків у процесі сквашування

Вміст фітокомпозиції, %	Титрована кислотність, °Т							
	Час сквашування, год							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Контроль	20	25	30	43	72	80	90	95
5	20	25	27	40	69	78	85	90
10	20	22	24	35	68	73	80	87
15	20	21	22	29	60	70	76	85

Вміст фітокомпозиції у кількості 5% практично не змінює титровану кислотність порівняно з контролем. За 6 год сквашування титрована кислотність в зразку зросла до 85°Т. У той же час збільшення кількості фітокомпозиції до 10—15% призводить до сповільненого утворення молочної кислоти, що, очевидно, пов'язано з антибактеріальними властивостями фітоекстракту.

Підвищення вмісту фітокомпозиції в зразках йогурту до 15%, за органолептичними показниками, призвело до погіршення смаку й запаху. Оптимальна кількість фітокомпозиції в йогурті 10%.

Досліджували зміни титрованої кислотності зразків йогурту під час зберігання за температури $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$ протягом 14 діб. Встановлено, що через 14 діб титрована кислотність йогурту збільшилась на 9°T та становить 128°T , що відповідає нормативному значенню. Отже, йогурт має термін придатності 14 діб за температури $4 \pm 2^\circ\text{C}$.

Для визначення впливу фітокомпозиції на якість йогурту розробляли комплексний показник якості, який здійснювали за таким алгоритмом:

- розробити ієрархічну структуру показників йогурту, вибрати групові та одиничні властивості для його характеристики;
- визначити коефіцієнти вагомості кожного з одиничних і групових показників якості йогурту;
- визначити оптимальні значення базових показників якості;
- розрахувати відносні показники якості одиничних властивостей;
- вибрати метод зведення оцінок одиничних показників для одержання показника комплексної оцінки якості;
- розрахувати показник комплексної оцінки якості.

На першому етапі здійснено вибір групових та одиничних властивостей, необхідних і достатніх для побудови ієрархічної структури показників якості йогурту — «дерева властивостей», що оцінювалось такими показниками: органолептична оцінка P_a , фізико-хімічні показники P_b , харчова цінність P_c (табл. 4).

Таблиця 4. «Дерево властивостей» для оцінки комплексного показника

	Групові показники якості	Одиничні показники якості	
		P_{a1}	Зовнішній вигляд і консистенція (0,25)
Комплексний показник якості P_o (1,0)	Органолептичні показники P_a (0,2)	P_{a2}	Колір (0,25)
		P_{a3}	Смак (0,25)
		P_{a4}	Запах (0,25)
		P_{b1}	Титрована кислотність (0,3)
	Фізико-хімічні показники P_b (0,3)	P_{b2}	Активна кислотність (0,3)
		P_{b3}	М.ч. сухих речовин (0,4)
		P_{c1}	Вміст білка (0,25)
	Харчова цінність P_c (0,5)	P_{c2}	Вміст вуглеводів (0,25)
		P_{c3}	Вміст каротеноїдів (0,25)
		P_{c4}	Енергетична цінність (0,25)

У зв'язку з тим, що властивості, які включено до «дерева властивостей», не однакові за значимістю, визначали коефіцієнти вагомості одиничних і групових показників якості. Отримані дані наведено в табл. 5.

Таблиця 5. Базові значення оцінюваних одиничних властивостей

Група властивостей	Показник	Одиниці вимірювання	Значення базового показника
A	$P_{a1}—P_{a4}$	бал	50,00
B	P_{b1}	$^\circ\text{T}$	90
	P_{b2}	од. pH	4,40
	P_{b3}	%	9,00
C	P_{c1}	г/100 г	5,0
	P_{c2}	г/100 г	3,5
	P_{c3}	мг/100 г	15,0
	P_{c5}	Ккал/100 г	63

У табл. 6 наведено результати визначення абсолютних і відносних одиничних показників якості досліджуваного йогурту.

Таблиця 6. Результати визначення абсолютних і відносних одиничних показників якості досліджуваного йогурту

Код показника якості, од. вимір.	Абсолютні показники якості йогурту		Відносні показники якості йогурту	
	Контроль	Збагачений йогурт	Контроль	Збагачений йогурт
Pa1, бал	45,00	49,00	0,9	0,98
Pa2, бал	47,00	49,00	0,94	0,98
Pa3, бал	46,00	49,00	0,92	0,98
Pa4, бал	48,00	48,00	0,92	0,92
Pb1, °T	80,00	85,00	0,88	0,94
Pb2, pH	4,0	4,2	0,90	0,95
Pb3, %	8,5	8,7	0,94	0,96
Pc1, г/100 г	4,2	4,7	0,84	0,94
Pc2, г/100 г	3,3	3,45	0,88	0,98
Pc3, мг/100 г	0,1	5,0	0	0,3
Pc4, ккал/100 г	61,6	63,88	0,97	1,01

У табл. 7 наведено комплексну оцінку якості збагаченого йогурту.

Таблиця 7. Комплексна оцінка якості йогурту збагаченого

Зразок	Оцінка якості за властивостями			Комплексний показник
	Органолептичні	Фізико-хімічні	Харчова та енергетична цінність	
Контроль	0,2-0,92	0,3-0,91	0,5-0,68	0,79
Йогурт збагачений	0,2-0,965	0,3-0,95	0,5-1,02	0,99

Аналіз оцінок якості проводили з використанням графіка (шкали) функції бажаності Харрінгтона для груп властивостей А, В, С, що передбачає поділ усього інтервалу значень функції бажаності на ряд проміжків (градацій якості). Шкала передбачає 5 інтервалів, у загальному інтервалі шкали від 1,00 до 0,00: 1,00...0,80 — дуже добре (відмінно); 0,80...0,63 — добре; 0,63...0,37 — задовільно; 0,37...0,20 — погано; 0,20...0,00 — дуже погано.

Відзначено, що комплексна оцінка якості контролю становить 0,79, а йогурту, збагаченого фітокомпозицією, — 0,99. За шкалою функції бажаності Харрінгтона розроблений йогурт має оцінку «дуже добре», що вище за контрольний зразок на 20%.

Висновки

За результатами проведених досліджень розроблено фітокомпозицію із лікарської рослинної сировини, зокрема м'яти (*Mentha piperita*), кропиви дводомної (*Urtica*), ромашки аптечної (*Matricaria chamomilla*) у співвідношенні 1:1:1 та досліджено БАР, органолептичні, фізико-хімічні властивості. Встановлено, що

найбільший вміст вітаміну С має екстракт кропиви ($0,94 \pm 0,01$ мг/100 г), найбільший вміст флавоноїдів і каратоноїдів в екстракті м'яти ($2,17 \pm 0,04\%$) та (9,8 мг/100 г), відповідно, в екстракті ромашки найбільший вміст органічних кислот 1,7%. Антиокислювальна активність знижується в ряді: екстракт кропиви → екстракт м'яти → екстракт ромашки.

Розроблено комплексний показник якості отриманого йогурту. Встановлено, що за рахунок введення фітокомпозиції та з огляду на групові показники (органолептичні, фізико-хімічні, харчову цінність) комплексна оцінка якості розробленого йогурту перевищує контроль на 20%.

Отже, розроблений йогурт дасть змогу розширити асортимент харчових продуктів з антиоксидантними властивостями. Тому дослідження з пошуку нових джерел сировини, що володіє антиоксидантними властивостями, з подальшим використанням її у розробленні широкого спектра харчової продукції антиоксидантної дії, є актуальним і перспективним.

Література

Валевська, Л. О., Дзюба, Н. А., Землякова, О. В., Євдокимова, Г. Й. (2018). Кваліметрична оцінка якості кексу з використанням білковмісної сировини. *Вчені записки ТНУ ім. В. І. Вернадського. Серія: технічні науки*, 29(68), 9—13.

Гойко, І. Ю. (2013). Визначення окислювально-відновлювального потенціалу для характеристики антиоксидантної активності нетрадиційної рослинної сировини. *Харчова промисловість*, 14, 6—9.

Державна Фармакопея України (2016). Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів».

Державна Фармакопея України (2014). Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів».

Дружина, М. О., Дьоміна, Е. А., Маковецька, Л. І. (2019). Метаболіти оксидативного стресу як предиктори променевих та канцерогенних ризиків. *Онкологія*, 21(2), 170—175. <https://doi.org/10.32471/oncology.2663-7928.t-21-2-2019-g.7457>.

Крайнюк, Л. М., Крутовий, Ж. А., Касілова, Л. О. (2015). Застосування методики комплексної органолептичної оцінки якості кулінарної продукції. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: збірник наукових праць*, 1(11), 266—272.

Максютина, Н. П., Мойбенко, А. А., Мохарт, Н. А. и др. (2012). *Биофлавоноиды как органопротекторы (кверцитин, корвитин, квертин)*. Київ: Наук. думка.

Машта, Н. О. (2011). Особливості моделювання комплексного показника якості плавлених сирих продуктів функціонального спрямування. *Вісник Львівської комерційної академії. Серія товаровознавча*, 12, 108—112.

Мінорова, А. В., Крушельницька, Н. Л., Рудакова, Т. В., Моїсєєва, Л. О., Наріжний, С. А. (2020). Оцінка якості сухих молочних багатокомпонентних сумішей на принципах кваліметрії. *Продовольчі ресурси*, 8(15), 139—150. <https://doi.org/10.31073/foodresources2020-15-15>.

Мусієнко, М. М., Паршикова, Т. В., Славний, П. С. (2001). Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. Київ: Фіто-соціоцентр.

Олійник, С. Г., Степанькова, Г. В., Шидакова-Каменюка, О. Г. (2019). Кваліметрична оцінка якості хліба пшеничного з використанням шроту зародків вівса та макухи зародків кукурудзи. *Наукові праці НУХТ*, 25(1), 233—242.

Омельченко, Н. В., Губа, Л. М. (2009). Розробка програми для визначення комплексного показника якості товарів. *Товарознавство та інновації*, 1, 2—7.

Рензєва, Т. В., Мерман, А. Д., Шарфунова, И. Б. (2010). Разработка обобщенного комплексного показателя качества хлебобулочных и мучных кондитерских изделий. *Техника и технология пищевых производств*, 3(18), 91—95.

- Романова, С. В., Ковальов, С. В. (2009). Кількісне визначення фенольних сполук. *Вісник фармації*, 2, 24—26.
- Сімахіна, Г. О. (2021). Отримання концентратів біофлавоноїдів із лікарської сировини. *Наукові праці НУХТ*, 27(2), 140—147. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2021-27-2-16>.
- Топольник, В. Г., Мілохова, Т. А., Кузьмін, О. В. (2013). Методика комплексної кількісної оцінки якості фаршу варених ковбас в процесі шприцювання. *М'ясний бізнес*, 11(128), 38—41.
- Черська, М. С., Кухарчук, Х. М., Гайова, О. А. (2021). Оксидативний стрес у пацієнтів із високим серцево-судинним ризиком. *Ендокринологія*, 26(3), 287—294. <https://doi.org/10.31793/1680-1466.2021.26-3.287>.
- Bjorklund, G., Chirumbolo, S. (2017). Role of oxidative stress and antioxidants in daily nutrition and human health. *Nutrition*, 33, 311—321. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2016.07.018>.
- Carlsen, M. H., Halvorsen, B. L., Holte, K., Bohn, S. K., Dragland, S., Sampson, L., Blomhoff, R. (2010). The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. *Nutrition Journal*, 9(1).
- Deshpande, P., Gogia, N. (2019). Exploring the efficacy of natural products in alleviating Alzheimer's disease. *Neural Regen. Res*, 14, 1321. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.253509>.
- Dietrich, I., Kuzmin, O., Mikhaileiko, V. (2017). Comprehensive evaluation of the hot sweet soufflé dessert quality. *Ukrainian Journal of Food Science*, 5(1), 92—102. <https://doi.org/10.24263/2310-1008-2017-5-1-12>.
- Kuzmin, O., Levkun, K., Riznyk, A. (2017). Qualimetric assessment of diets. *Ukrainian Food Journal*, 6(1), 46—60. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2017-6-1-7>.
- Lobo, V., Phatak, A., Chandra, N. (2010). Free radicals and functional foods: impact on human health. *Pharmacol. Rev*, 4, 118—126. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.70902>.
- Mardar, M., Zhygunov, D., Znachek, R. (2016). QFD methodology to develop a new health-conducive grain product. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 11(80), 42—47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65725>.
- Niemirich, O., Kuzmin, O., Vasheka, O., Zychuk, T. (2018). Development of complex quantity assessment method of butter quality. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*, 5(45), 27—35.
- Polumbryk, M., Ivanov, S., Polumbryk, O. (2013). Antioxidants in food systems. Mechanism of action. *Ukrainian journal of food science*, 1(1), 15—40.
- Smith, C. J. (2018) Natural antioxidants in prevention of accelerated ageing: a departure from conventional paradigms required. *Physiol Biochem*, 74(4), 549—558. <https://doi.org/10.1007/s13105-018-0621-5>.
- Veurink, G., Perry, G., Singh, S. (2020). Role of antioxidants and a nutrient rich diet in Alzheimer's disease. *Open Biology*, 10, 1—16. <https://doi.org/10.1098/rsob.200084>.

УДК 637.5.03

RESEARCH OF HEMP SEED BY-PRODUCTS FOR USE IN MEAT PRODUCTS

V. Pasichnyi, Y. Shubina

National University of Food Technologies

V. Tischenko

Sumy national agrarian university

N. Bozhko

Sumy state university

O. Moroz

Lviv College of Meat and Dairy Industry

Key words:

*Hemp seed processing
products
Functional and
technological properties
Plant protein
Hemp flour
Technological indicators*

Article history:

Received 01.03.2022
Received in revised form
16.03.2022
Accepted 18.04.2022

Corresponding author:

V. Pasichnyi

E-mail:

pasww1@ukr.net

ABSTRACT

This article is devoted to the study of the main functional and technological indicators of hemp seed by-products, namely hemp seed protein and flour, for further use in meat systems. The relevance of the use of non-traditional vegetable raw materials in meat products is determined. The use of hemp seed protein and flour for further use in recipes is substantiated. Dry samples of protein and flour, as well as hydrated in a ratio of 1:1; 1:2; 1:2.5; 1:3 with water were used in research.

The obtained data showed that the studied samples have a fairly high value of functional and technological properties. However, they are affected not only by the degree of hydration, but also by heat treatment. Thus, after heat treatment at 80°C for 10 minutes the moisture-absorbing ability of all samples increased. Emulsifying ability of experimental samples with hydration of hemp seed flour in the ratio 1:1 and 1:2 showed that there are higher values in samples without heat treatment, and after heat treatment they decrease, while in samples of hydrated hemp seed protein they increase.

Rheological studies (effective viscosity and shear stress) showed decrease in the degree of hydration of hemp seed flour and protein samples. Hemp seed protein hydrated in a ratio of 1:1 had values higher than in samples with hydration 1:2.

The obtained research data practically confirm the possibility of using hemp seed by-products in meat products. Changes in functional and technological properties depending on the degree of hydration and heat treatment were determined. The main functional and technological indicators of hemp seed protein and flour which can affect the quality of the meat product were determined.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-2-16

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ КОНОПЕЛЬ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У М'ЯСНИХ ПРОДУКТАХ

В. М. Пасічний, Є. А. Шубіна

Національний університет харчових технологій

В. І. Тищенко

Сумський національний аграрний університет

Н. В. Божко

Сумський державний університет

О. О. Мороз

Львівський фаховий коледж харчових технологій та бізнесу

У статті досліджено основні функціонально-технологічні показники продуктів переробки насіння конопель, зокрема протеїну та борошна з насіння конопель, з метою подальшого використання у м'ясних системах. Визначено актуальність використання нетрадиційної рослинної сировини у м'ясних продуктах. Обґрунтовано використання протеїну та борошна з насіння конопель для подальшого включення до рецептур. Для дослідження використовувалися сухі зразки протеїну та борошна, а також гідратовані у співвідношенні 1:1; 1:2; 1:2,5; 1:3 з водою.

Отримані дані показують, що досліджувані зразки мають достатньо високі значення функціонально-технологічних показників. Однак під час досліджень виявлено, що на них впливає не тільки ступінь гідратації, а й термічна обробка. Так, після термічної обробки при 80°C протягом 10 хв вологозв'язувальна здатність усіх зразків збільшується. При дослідженні емульгуючої здатності виявлено, що в дослідних зразках з гідратацією борошна з насіння конопель у співвідношенні 1:1 та 1:2 значення більші у зразках без термічної обробки, а після термічної обробки вони зменшуються, при цьому у зразках гідратованого протеїну насіння конопель вони, навпаки, збільшуються.

Дослідження реологічних показників, зокрема ефективної в'язкості та граничної напруги зсуву, виявило зниження цих показників зі збільшенням ступеня гідратації зразків борошна та протеїну з насіння конопель. Протеїн з насіння конопель, гідратований у співвідношенні 1:1, мав значення вищі, ніж при гідратації 1:2.

Отримані дослідні дані практично підтверджують можливість використання продуктів переробки насіння конопель у м'ясних виробках. Визначено зміни функціонально-технологічних властивостей залежно від ступеня гідратації та термічної обробки. Визначено основні функціонально-технологічні показники протеїну та борошна з насіння конопель, що можуть вплинути на якість м'ясного продукту.

Ключові слова: продукти переробки насіння конопель, функціонально-технологічні властивості, рослинний протеїн, борошно з коноплі, технологічні показники.

Постановка проблеми. Повноцінне харчування є основним серед факторів, що впливають на здоров'я населення. Сучасний спосіб життя все більше змушує людей переходити на зручні та швидкі у приготуванні продукти. Однак це призводить до зменшення харчової та біологічної цінності раціонів і породжує тенденцію до пошуків альтернативних джерел біологічно активних речовин для збагачення харчових продуктів.

Застосування рослинної сировини в рецептурах м'ясних виробів може вирішувати низку питань, зокрема збагачення вітамінами, мінеральними речовинами, харчовими волокнами (Іванов, Пасічний, Страшинський, Маринін, Фурсік & Степаненко, 2014; Тимошенко & Потаєва, 2013). Розробка комбінованих продуктів харчування дає змогу максимально ефективно використовувати м'ясні та рослинні ресурси та створювати функціональні продукти харчування.

Перспективною сировиною для використання у м'ясопродуктах є продукти переробки насіння конопель. Коноплі за своїм хімічним складом можна віднести до категорії «суперфудів», тобто продуктів, що мають у своєму складі підвищену кількість корисних речовин (Loyer, 2016). Отримані харчові продукти з їх використанням можна віднести до дієтичних і функціональних.

Утім створення якісних харчових продуктів полягає не тільки в моделюванні їх харчової та біологічної цінності, вони повинні відповідати вимогам функціонально-технологічних характеристик певного продукту. Заміна традиційних видів сировини у рецептурах на рослинні компоненти може значно на них впливати та змінюватись залежно від концентрації, способу внесення у продукт та виду термічної обробки, тому питання дослідження характеристик продуктів переробки насіння конопель окремо від м'ясної системи є актуальним та може визначити раціональний спосіб внесення цієї сировини у рецептуру продукту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пріоритетним напрямом м'ясопереробної промисловості є розробка комбінованих продуктів, повноцінних за біологічною цінністю та з покращеними споживчими якостями.

Розроблювані комбіновані продукти мають забезпечувати прогнозовану якість за вмістом корисних речовин та органолептичними показниками. Також обрані компоненти рецептури повинні мати достатні функціонально-технологічні показники та разом забезпечувати якість фаршевої емульсії та готового продукту (Mohanty, Mahanty, Ganguly, Mitra, Karunakaran & Anandan, 2019).

М'ясо як основна сировина для виробництва м'ясних продуктів має високу мінливість постійно триваючих біохімічних процесів, неоднорідну морфологічну структуру та виражену змінність хімічного складу (Тищенко, Божко & Пасічний, 2019). Спрогнозувати поведінку м'ясної сировини під час переробки складно, що значно ускладнює розроблення рецептур. Однак при моделюванні комбінованих продуктів можливе корегування функціонально-технологічних властивостей м'яса за допомогою рослинних збагачувачів.

Широкого застосування у харчовій промисловості набувають продукти перероблення насіння конопель. Насіння конопель містить 30—35% ліпідів, 17—25% білка і відноситься до класу білково-олійних. Основними продуктами промислової переробки насіння конопель в Україні є: подрібнене насіння конопель, конопляна олія, конопляне борошно, конопляні висівки, конопляний «білок» (Домбровська, Чурсіна & Мандра, 2021; Резвих & Горач, 2021).

Дослідження свідчать, що протеїн з насіння конопель засвоюється організмом людини на 84,1—86,2% (House, Neufeld & Leson, 2010). Порівняння амінокислотного складу конопляного та соєвого ізолятів свідчить про те, що конопляний мав вищий вміст незамінних амінокислот (за винятком лізину) (Vonapartis, Aubin, Seguin, Mustafa & Charron, 2015).

Протеїн і борошно з насіння конопель добре вбудовуються в фаршеві системи комбінованих виробів (Божко, Тищенко, Пасічний & Божко 2020; Галенко & Шаповалов, 2020). Отримані продукти були збалансовані за харчовою та біологічною цінністю та мали покращені функціонально-технологічні властивості.

Перевагою рослинної сировини також є відсутність холестерину та лактози. Продукти з використанням продуктів переробки насіння конопель можна позиціонувати як корисні для здоров'я та дієтичні. Отримані м'ясні вироби є низькокалорійними та можуть бути рекомендовані для харчування дітей і спортсменів.

Мета дослідження: вивчення основних функціонально-технологічних показників і харчової цінності зразків продуктів переробки насіння конопель, зокрема борошна та протеїну, і їх змін при різному ступені гідратації та термічній обробці з метою визначення раціонального способу введення в рецептури комбінованих м'ясних продуктів.

Матеріали і методи. Для дослідження було обрано протеїн і борошно з насіння коноплі (*Cannabis Sativa L.*), вироблені ТОВ «Десналенд» (Україна). Для досліджень використовували зразки в сухому та гідратованому вигляді у співвідношенні 1:1; 1:1,5; 1:2; 1:2,5 та 1:3.

Вміст вологи визначали методом висушування до постійної маси при 100—105°C. Вологозв'язувальну здатність (ВЗЗ) досліджуваних зразків визначали методом пресування (Okuskhanova та ін., 2017). Дослідження значення рН визначали на потенціометрі (Jin та ін., 2018). Визначення емульгуючої здатності (ЕЗ) проводили методом центрифугування гомогенізованого зразка у системі з водою та олією (Silva, Barreir, & Oliveira, 2016).

Дослідження буферної ємності проводилось потенціометричним методом у кислому середовищі з концентрацією НСІ 0,05н; 0,1н; 0,2н; 0,4н та 0,6н (Пасічний, 2013). Визначення ефективної в'язкості та граничного напруження зсуву проводилось на віскозиметрі Воларовича (Пасічний, 2013).

Викладення основних результатів дослідження. Функціонально-технологічні властивості м'ясних продуктів — це сукупність показників, що обумовлюють цілу низку інших параметрів, в тому числі й органолептичні властивості майбутнього продукту.

Вміст вологи у продукті безпосередньо впливає на функціонально-технологічні характеристики та зберігання готового продукту. Також цей вплив може мати значення рН, що робить доцільними дослідження інгредієнтів окремо від м'ясної системи (табл. 1).

Таблиця 1. Значення вмісту вологи та рН у дослідних зразках

Зразок	Масова частка вологи, %	рН
Протеїн з насіння конопель	8,57±0,01	6,10±0,02
Борошно з насіння конопель	8,49±0,03	6,00±0,01

Дані у табл. 1 свідчать, що досліджувані зразки мають низький вміст вологи, а значення рН знаходиться в межах оптимальних для м'ясних фаршів (рН = 5,8—6,4).

Вологозв'язувальна здатність безпосередньо впливає на якість м'ясних продуктів, їх показники у готовому вигляді й органолептичні показники. Значення ВЗЗ можуть змінюватись при різних ступенях гідратації та після термічної обробки.

Визначення проводили у гідратованих зразках у співвідношеннях наважки досліджуваного протеїну або борошна до маси води 1:1; 1:2; 1:2,5 та 1:3 відповідно. Також проводилось дослідження зміни показників вологозв'язувальної здатності по м'ясу (ВЗЗм) та по волозі (ВЗЗв) у зразках після проведення термічної обробки за температури 80°C протягом 10 хв (табл. 2).

Таблиця 2. Значення вологозв'язувальної здатності продуктів переробки насіння конопель

Співвідношення зразок:вода	Протеїн з насіння коноплі		Борошно з насіння коноплі	
	ВЗЗм, %	ВЗЗв, %	ВЗЗм, %	ВЗЗв, %
1:1	77,74±0,01	88,82±0,11	70,41±0,02	82,83±0,13
1:2	59,89±0,12	73,34±0,13	53,65±0,10	63,49±0,04
1:2,5	46,61±0,03	54,38±0,03	47,17±0,09	55,51±0,11
1:3	46,08±0,17	53,73±0,14	35,13±0,03	41,35±0,14
1:1 терм. обр.	81,01±0,11	95,65±0,02	79,59±0,14	93,59±0,15
1:2 терм. обр.	71,34±0,02	83,29±0,04	65,42±0,16	77,07±0,03
1:2,5 терм. обр.	63,53±0,05	74,17±0,09	63,59±0,12	74,86±0,01
1:3 терм. обр.	53,66±0,10	62,57±0,08	51,75±0,11	60,95±0,04

Отримані дані свідчать, що дослідні зразки протеїну та борошна з насіння конопель мають достатньо високі показники ВЗЗ для використання у м'ясних фаршевих системах.

Зразки протеїну з насіння конопель мають вищі показники, ніж зразки з борошна з насіння конопель, окрім зразка зі співвідношенням 1:2,5, де значення було більше на 0,56% без термічної обробки. Після термічної обробки значення зразків були на одному рівні. Найбільш оптимальне значення ВЗЗ мали зразки протеїну та борошна з насіння конопель, гідратовані у співвідношенні 1:2,5 після термічної обробки.

М'ясний фарш — це емульсія, коагуляційна структура, частинки якої об'єднані силами міжмолекулярної взаємодії в одну просторову мережу або каркас. Білки у м'ясній системі виступають емульгаторами, що допомагають зберігати стабільність системи.

Продукти переробки насіння конопель містять велику кількість білка у своєму складі (30—50% протеїну). Емульгуюча здатність білкової сировини може значно вплинути на якість та функціонально-технологічні показники кінцевого продукту.

Визначення емульгуючої здатності у протеїні з насіння конопель та борошні з насіння конопель проводилось у дослідних зразках, гідратованих у співвідно-

шеннях 1:0; 1:1 та 1:2. Також проводилось дослідження залежності значення емульгуючої здатності від впливу температури. Нагрівання зразків проводилось на водяній бані при температурі води 80°C протягом 10 та 15 хвилин (рис. 1).

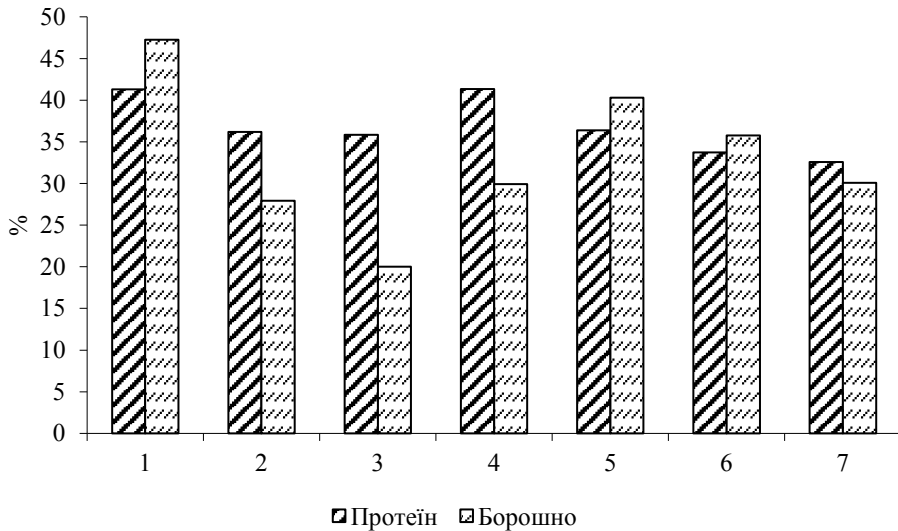


Рис. 1. Значення емульгуючої здатності дослідних зразків:

1,2,3 — співвідношення зразок:вода 1:0, 1:1, 1:2 без термічної обробки; 4,5 — співвідношення зразок:вода 1:1, 1:2 з термічною обробкою 10 хв; 6,7 — співвідношення зразок:вода 1:1, 1:2 з термічною обробкою 15 хв

При дослідженні виявлено, що кращу емульгуючу здатність у гідратованому вигляді проявляє протеїн з насіння конопель — 35,85—36,18%, однак у цих зразках після тривалої термічної обробки показники не значно погіршуються.

На рис. 1 наочно показано, що зразки гідратованого борошна з насіння конопель мають значно кращі показники після термічної обробки, ніж у сирому вигляді.

Також отримані дані свідчать, що найвищі показники емульгуючої здатності мав зразок негідратованого борошна з насіння конопель — $47,23 \pm 0,01\%$, а серед гідратованих зразків найкраще значення мав зразок протеїну з насіння конопель у співвідношенні 1:1 з водою після десятихвилинної термічної обробки $41,33 \pm 0,10\%$.

Буферна ємність — це кількість мольеквівалентів сильної кислоти або лугу, які необхідно додати до 1 л буферного розчину, щоб змістити рН на одиницю. Дослідження буферної ємності сировини дає змогу зробити висновок про необхідність використання регуляторів кислотності у рецептурному складі м'ясних продуктів з досліджуваною рослинною сировиною.

Дослідження проводилось для зразків борошна (табл. 3) та протеїну (табл. 4) з насіння конопель гідратованих у співвідношенні 1:0; 1:1; 1:2; 1:2,5; 1:3 зразків, у сирому вигляді та після 10 хв термічної обробки при 80°C.

Таблиця 3. Значення буферної ємності для зразків протеїну з насіння конопель

Співвідношення протеїн:вода	Концентрація HCl				
	0,005н	0,01н	0,02н	0,04н	0,06н
0:1	3,42	3,02	2,78	2,20	2,00
1:0	5,61	5,71	5,12	3,33	4,84
1:1	5,32	5,60	4,76	4,52	4,41
1:2	5,64	6,04	5,43	3,46	3,21
1:2,5	6,32	6,04	5,25	3,61	3,23
1:3	6,16	5,56	4,41	4,25	4,10
1:1 терм. обр.	5,73	5,53	5,22	2,51	2,24
1:2 терм. обр.	5,26	4,21	5,03	3,03	3,23
1:2,5 терм. обр.	5,44	5,06	4,05	3,08	2,00
1:3 терм. обр.	5,02	5,17	4,26	2,82	2,7

З даних, наведених у табл. 3, можна зробити висновок, що значення рН у зразках протеїну з насіння конопель при збільшенні ступеня гідратації та при додаванні кислоти однакової концентрації відносно не змінюються. Однак після термічної обробки зі збільшенням концентрації доданої кислоти значення буферної ємності знижуються порівняно зі зразками без термічної обробки.

Найбільш наближену динаміку зміни рН у дослідних зразках мав протеїн з насіння конопель гідратований 1:2,5 після термічної обробки.

Таблиця 4. Значення буферної ємності для зразків борошна з насіння конопель

Співвідношення борошно:вода	Концентрація HCl				
	0,005н	0,01н	0,02н	0,04н	0,06н
0:1	7,00	3,42	3,02	2,78	2,20
1:0	6,20	5,83	4,85	4,56	4,26
1:1	6,41	5,84	5,51	3,32	3,94
1:2	6,37	6,45	5,47	4,34	4,67
1:2,5	5,84	6,07	5,02	4,26	4,82
1:3	5,66	5,89	5,48	3,48	4,21
1:1 терм. обр.	5,57	5,56	5,24	3,01	2,87
1:2 терм. обр.	5,82	5,82	5,60	3,53	3,45
1:2,5 терм. обр.	6,10	5,27	5,71	4,05	3,73
1:3 терм. обр.	5,52	5,64	5,23	3,08	3,51

Дослідження зразків борошна з насіння конопель показало більш плавне зниження показників. Значення рН при однаковій концентрації доданої кислоти у зразків до та після термічної обробки відрізняються. Зразки гідратованого борошна без термічної обробки мали значення досліджуваного показника до 11,49% більші за зразки після термічної обробки.

Реологічні характеристики сировини безпосередньо впливають на структурно-механічні властивості отриманих м'ясних виробів.

У ході досліджень було визначено ефективну в'язкість гідратованих зразків борошна та протеїну з насіння конопель. Дослідження проводилось на віскозиметрі Воляровича у зразках, гідратованих з водою у співвідношенні 1:1,5 (рис. 2) та 1:2 (рис. 3).

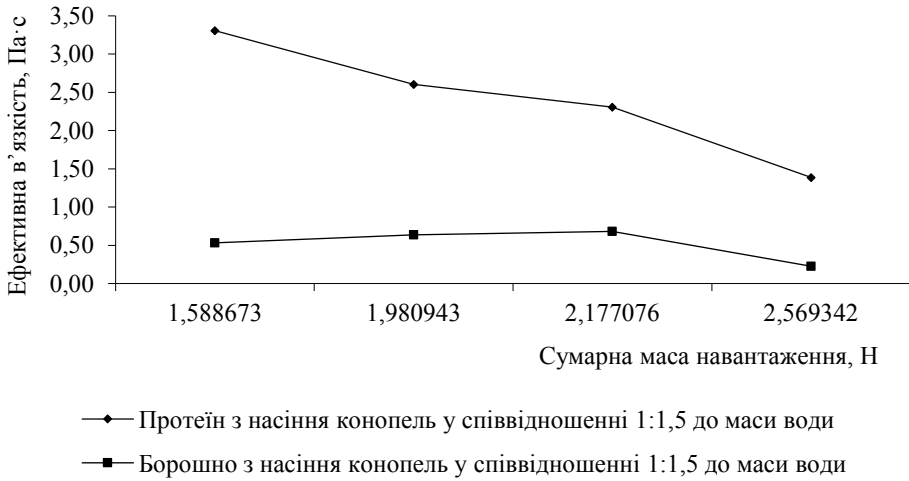


Рис. 2. Залежність ефективної в'язкості від навантаження у зразках гідратованого борошна та протеїну з насіння конопель у співвідношенні 1:1,5

Отриманні дослідні дані свідчать, що ефективна в'язкість зразка протеїну з насіння конопель при гідратації 1:1,5 має значно вищі показники за зразок борошна з насіння конопель. Значення ефективної в'язкості при однаковому навантаженні у 0,222 кг у зразку протеїну з насіння конопель вище за борошно з насіння конопель на 2,082375 Па·с.

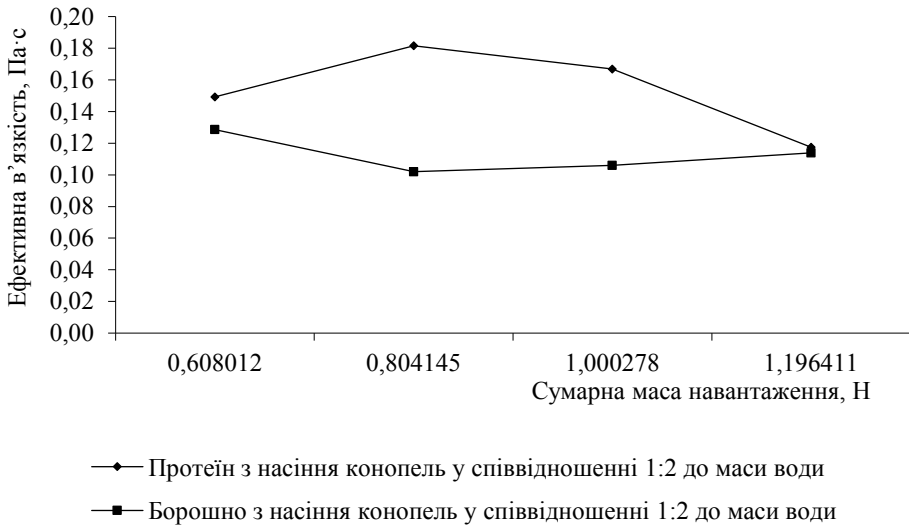


Рис. 3. Залежність ефективної в'язкості від навантаження у зразках гідратованого борошна та протеїну з насіння конопель у співвідношенні 1:2

Зразки гідратованого борошна та протеїну з насіння конопель у співвідношенні 1:2 мали близькі значення. Однак ефективна в'язкість у зразках протеїну була вища за борошно на 3,07—43,81%.

Дослідження граничного напруження зсуву проводилось у зразках продуктів переробки насіння конопель гідратованих у співвідношенні 1:1,5 та 1:2.

Під час проведення досліджень виявлено, що гідратація продуктів переробки насіння конопель значно впливає на реологічні показники (рис. 4). Отримані дослідні значення показують, що граничне напруження зсуву у зразку гідратованого протеїну у співвідношенні 1:1,5 має значення на 88,84% більше за зразок протеїну гідратованого 1:2.

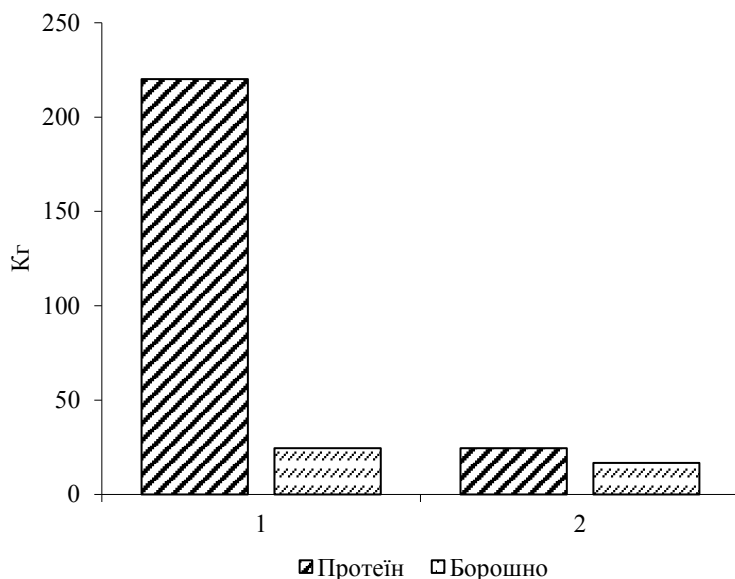


Рис. 4. Граничне напруження зсуву зразків продуктів переробки насіння конопель:
1 — співвідношення зразок:вода 1:1,5; 2 — співвідношення зразок:вода 1:2

Дослідні зразки борошна з насіння конопель, гідратовані 1:1,5, мають значно нижчі показники за протеїн тієї ж гідратації. Однак різниця між зразками борошна різної гідратації — 7,89%.

Висновки

Продукти переробки насіння конопель є перспективною рослинною сировиною для використання у рецептурах м'ясних виробів.

Дослідження функціонально-технологічних показників сировини показали достатньо високий рівень значень, що дає змогу рекомендувати її для використання у м'ясних системах. На значення ВЗЗ та ЕЗ значно впливає термічна обробка. Так, значення ВЗЗ зразка протеїну гідратованого 1:1 були на 4,20% більші після термічного оброблення. Однак дослідження ЕЗ показують, що термічне оброблення, більш тривале в часі, призводить до зниження цих показників.

Буферна ємність дослідних зразків була наближена по динаміці до контрольного зразка, однак значення рН після термічного оброблення змінюються більш інтенсивно.

За реологічними показниками встановлено, що найкращим зразком для подальшого використання в складі м'ясних систем є використання продуктів переробки насіння конопель при гідратації 1:2 та після 10 хвилинного термічного оброблення при 80°C.

Література

Божко, Н. В., Тищенко, В. І., Пасічний, В. М., & Божко, С. Б. (2020). Перспективи використання конопляних продуктів для виробництва крафтових м'ясних виробів. *Food chemistry. Modern methods for production of food, food additives and packaging materials: book of abstracts*, 2020, 60—67. <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/55575>.

Галенко, О. О., Шаповалов, В. Ю. (2020). Використання добавки з насіння промислових конопель у технологіях м'ясних продуктів. Інноваційні технології та перспективи розвитку м'ясопереробної галузі: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 24 листопада 2020 р. Київ, 141—142.

Домбровська, О., Чурсіна, Л., Мандра, О. (2021). Актуальність дослідження споживних характеристик конопляних виробів, одержаних за інноваційними технологіями. *Товарознавчий вісник*, 1(14), 168—181. <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2021-14-17>.

Іванов, С. В., Пасічний, В. М., Страшинський, І. М., Маринін, А. І., Фурсік, О. П., Степаненко, І. О. (2014). Регулювання структурно-механічних показників низькокалорійних м'ясних січених напівфабрикатів з використанням нанокompозитів. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 20(6), 227—233.

Пасічний, В. М. (2013) Теорія варіаційного моделювання якості м'ясних та м'ясомістких продуктів: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.18.04 «Технологія м'ясних, молочних продуктів і продуктів з гідробіонтів», НУХТ, 595.

Резвих, Н. І., Горач, О. О. (2021). Насіння ненаркотичних конопель—сировина для харчової промисловості. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, (3), 79—86. <https://doi.org/10.32851/tmv-tech.2021.3.10>.

Тимошенко, Н. В., Потаєва, Н. М. (2013). Розробка технології лікувально-профілактичних ковбасних виробів для дітей шкільного віку» *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції*, 74—76.

Тищенко, В. І., Божко, Н. В., Пасічний, В. М. (2019). М'ясомісткі комбіновані продукти з м'ясом качки та сріблястого карася. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях, 5, 160—168.

House, J. D., Neufeld, J., Leson, G. (2010). Evaluating the quality of protein from hemp seed (*Cannabis sativa* L.) products through the use of the protein digestibility-corrected amino acid score method. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(22), 11801—11807. <https://doi.org/10.1021/jf102636b>.

Jin, H., Qin, Y., Pan, S., Alam, A. U., Dong, S., Ghosh, R., Deen, M. J. (2018). Open-source low-cost wireless potentiometric instrument for pH determination experiments. *Journal of Chemical Education*, 95(2), 326—330. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00479>.

Loyer, J. (2016). *The social lives of superfoods*. (Thesis Ph.D.). University of Adelaide, School of Humanities.

Mohanty, B. P., Mahanty, A., Ganguly, S., Mitra, T., Karunakaran, D., Anandan, R. (2019). Nutritional composition of food fishes and their importance in providing food and nutritional security. *Food chemistry*, 293, 561—570. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.039>.

Okuskhanova, E., Rebezov, M., Yessimbekov, Z., Suychinov, A., Semenova, N., Rebezov, Y., Gorelik, O., Zinina, O. (2017). Study of water binding capacity, pH, chemical composition and microstructure of livestock meat and poultry. *Annual Research & Review in Biology*, 14(3), 1—7. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/34413>.

Silva, B.V., Barreira, J. C. M., Oliveira, M. B. (2016). Natural phytochemicals and probiotics as bioactive ingredients for functional foods: Extraction, biochemistry and protected-delivery technologies, *Trends in Food Science & Technology*. 50(5), 144—158. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.007>.

Vonapartis, E., Aubin, M. P., Seguin, P., Mustafa, A. F., Charron, J. B. (2015). Seed composition of ten industrial hemp cultivars approved for production in Canada. *Journal of Food Composition and Analysis*, 39, 8—12. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.11.004>.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» запрошує вас до публікації наукових праць (<http://sw.nuft.edu.ua>).

До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Автор, який подає матеріали до друку, зберігає за собою всі авторські права та надає відповідному виданню право першої публікації, дозволяючи розповсюджувати матеріал із зазначенням авторства й джерела первинної публікації, а також погоджується на розміщення її електронної версії на сайті Національної бібліотеки ім. В. І. Вернадського та у відкритому доступі в електронній мережі університету. Автор надає право редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути видана лише одна стаття автора (як власна, так і в співавторстві).

На електронну адресу журналу (npuht@ukr.net) необхідно надіслати такі документи:

- файл статті;
- рецензію доктора наук певної галузі (за тематичною спрямованістю статті). Якщо один із авторів статті є доктором наук, то рецензія необов'язкова;
- заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань;
- витяг з протоколу засідання кафедри (підрозділу) з рекомендацією роботи до друку.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті подаються у вигляді вчитаних роздруковок на папері формату А4 (поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word). У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані.

Обсяг дослідницької статті має бути не менше 10 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). У дослідницькій статті має бути проаналізовано не менше 15 джерел. Обсяг оглядової статті має бути не менше 25 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). В оглядовій статті повинно бути проаналізовано не менше 40 джерел.

ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ

1. Індекс УДК.
2. Назва статті (англійською та українською мовами).
3. Ініціали та прізвища авторів англійською та українською мовами.
4. Анотація англійською та українською мовами (не менше 1800 символів з пробілами). Анотація має бути максимально інформативною, це окремий текстовий документ, у якому лаконічно викладені результати дослідження. У тексті анотації не варто використовувати загальні фрази, вказувати несуттєві деталі й загальновідомі положення. Також слід уникати прямих повторів будь-яких фрагментів статті.
5. Ключові слова (5—6 слів/ключових словосполучень англійською та українською мовами).
6. Структура текстової частини:
 - постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями;
 - аналіз останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор;
 - формулювання мети статті;
 - викладення основних результатів дослідження;
 - висновки і перспективи подальших наукових досліджень.
7. Після тексту статті в алфавітному порядку наводиться список літературних. **Бібліографічні описи оформляються згідно з міжнародним стилем APA.** Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на наукові праці останніх років. Наприкінці кожної публікації наводиться ідентифікатор DOI у форматі <https://doi.org/.....>, якщо він є, або посилання на публікацію. Також слід обмежити посилання на власні публікації, оскільки це знижує наукову цінність статті та індекс цитування автора. Не можна посилатись на національні стандарти, технічні умови, підручники, конспекти лекцій, лабораторні практикуми та іншу ненаукову літературу. Посилання на патенти слід робити в тексті статті, вказавши лише номер та назву патенту.

У статті мають бути проаналізовані напрацювання вчених з усього світу. На основі аналізу сучасних статей з англомовних журналів має бути доведена актуальність теми у світі, визначені питання, які потребують вирішення, сформульована мета дослідження.

8. Таблиці (у Word або Excel) можна подавати як у тексті, так і в окремих файлах (на окремих сторінках). Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Слово «Таблиця» і номер друкується курсивом, заголовок — напівжирним шрифтом. Таблиці повинні мати книжковий формат і вільно вміщатися у висоту і ширину журнальної сторінки.

9. Ілюстрації (креслення, рисунки, схеми, діаграми) мають бути розміщені в тексті. **Обов'язковою вимогою** є надсилання оригінальних файлів рисунків, створених у програмах-редакторах Corel Draw X6, Origin. Всі елементи рисунка (типи, товщина і колір ліній, шрифт текстів тощо) мають вільно редагуватись у наявному програмному забезпеченні. Рисунки в растрових форматах (bmp, gif, jpeg, tif) або у форматі pdf не приймаються до розгляду, оскільки не можуть вільно редагуватись. **Вимоги до оформлення рисунків:** вісь координат — 0,2 мм, без сітки, сам рисунок (наприклад, крива) — 0,35 мм, текст в рисунку — Times New Roman 9,5, ширина рисунка — до 13 см. Всі рисунки мають бути чорно-білими. Підписи до рисунків набираються безпосередньо під рисунками прямим напівжирним шрифтом.

Фотографії мають бути чіткими та контрастними (формати TIF, JPG з роздільною здатністю 300 dpi), розмірами 6×9. Фотографії друкуються в разі крайньої потреби, якщо наведена на них інформація має значну наукову цінність. Авторам краще завантажити фотографії у хмарний сервіс і в списку літератури дати на них посилання.

10. Математичні формули повинні бути роздруковані з правильним виділенням верхніх і нижніх індексів. Нумерація формул здійснюється арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки. Індеси від скорочених українських слів друкуються прямим шрифтом малими літерами. В індексах, що складаються з двох скорочених слів, після першого скороченого слова ставиться крапка, після другого — крапка не ставиться. Цифри в індексах також друкуються прямим шрифтом. Індеси, позначені латинськими літерами, друкуються курсивом. У формулах літери латинського алфавіту набираються курсивом, грецького й українського — прямим шрифтом.

Хімічні формули набираються прямим шрифтом. Математичні символи, що входять до складу хімічних формул, — курсивом.

Формули вставляються безпосередньо в текст. Прості формули набираються з клавіатури, а складні — за допомогою редактора формул Microsoft Equation 3.0 object або Math Type 5.6. Інші версії редакторів формул є неприйнятними. Символи вставляються тільки через таблицю символів. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

11. Відомості про авторів статті повинні бути наведені за єдиним зразком у вказаному порядку: прізвище (прописними літерами), ім'я та ім'я по батькові (повністю); наукове звання; посада чи професія, місце роботи; телефон, E-mail.

12. Дата надходження статті до редакції (після тексту надрукованого матеріалу).

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається**. Переклад має бути належної якості.

Відсутність будь-якого з пунктів переліку, зазначеного вище, рецензії, невідповідність вимогам до оформлення, наявність орфографічних, граматичних, стилістичних помилок, автоматичний переклад елементів матеріалу є підставою **для відмови** в прийнятті статті до друку.

Автор несе відповідальність за додержання вимог чинного законодавства при підготовці матеріалів, у тому числі норм авторського права і достовірність наведених фактичних даних (цитат, посилань, імен, назв тощо).

Адреса редакції:

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

Контактні телефони: міський — (044) 287-92-95, внутрішній — 92-95.

E-mail: npnuht@ukr.net

SUBMISSION GUIDELINES

Dear colleagues,

The editorial board of the Journal “Scientific works of the National University of Food Technologies” invites you to the publication of your manuscripts (<http://sw.nuft.edu.ua>).

Only the manuscripts that have not previously been published in print and electronic media are accepted. The author who submits materials for publication reserves the copyright and provides the right of first publication to the Journal, allows to distribute the manuscript indicating the authorship and the primary source of publication and agrees to placing the electronic version of the manuscript on the website of the V. I. Vernadsky National Library of Ukraine, publicly available electronic network of the University. The author gives the right to the editorial board to review and reject the material submitted for publication. The author can publish one manuscript (of his/her single authorship or co-authored) per every issue of the Journal.

The following documents are necessary to be sent to the e-mail address of the journal ([npnuht@ukr.net](mailto:npuht@ukr.net)):

- Electronic version of the manuscript;
- A review of the manuscript by a doctorate of the corresponding branch of science. If one of the authors is a doctorate him/herself, then a review is not necessary;
- A statement signed by the author(s) that the manuscript has not been published and is not submitted for publication;
- Extract from the minutes of the department / unit of the organization confirming that the manuscript is recommended for publication.

REQUIREMENTS FOR MANUSCRIPTS

The electronic version should be submitted in a Microsoft Word document (margins of 2 cm, Time New Roman, type size 14, spacing 1.5). There should be no blank lines in the manuscript. No extra spaces are allowed between the words. All pages of the manuscript should be numbered.

The number of pages of the research article should be at least 10 (excluding abstracts and references). At least 15 references should be analyzed in the research paper. The length of the review article should be at least 25 pages (excluding abstracts and references). At least 40 references should be analyzed in the review article.

The use of automatic translation for any part of your text (manuscript, abstract, keywords) is not allowed. Translation must be of good quality.

The editors reserve the right to edit the manuscript scientifically and literary.

SEQUENCE OF STRUCTURAL ELEMENTS OF THE MANUSCRIPT

1. UDC index.
 2. The title of the manuscript (in English, Ukrainian).
 3. Full names of the authors in English, Ukrainian (not more than four authors).
 4. An abstract in English, Ukrainian (not less than 1800 characters with spaces). The abstract should be highly informative, it is a separate text document in which the results of the research must be summarized. General phrases, insignificant details and well-known provisions shouldn't be written in the abstract. Direct repetitions of any parts of the article should be also avoided.
 5. A list of keywords (5—6 words or key phrases in English, Ukrainian).
 6. The structure of the text:
 - Problem definition and its relationship with important practical tasks;
 - Analysis of recent studies and publications related to subject matter of the manuscript;
 - Problem statement (statement of purpose of the manuscript);
 - Presentation of the main material;
 - Conclusions and recommendations for further research.
 7. A list of references of their quotation should be presented after the text of the manuscript.
- Bibliographic descriptions should be made according to international style APA.** Bibliographic descriptions should be submitted in the language of their edition. Links to unpublished materials are not allowed. The list of references should contain links only to recent and relevant studies. At the end of each reference, the DOI identifier is provided in the format <https://doi.org/.....>, if it is, or a link to

the publication. National standards, specifications, textbooks, lecture notes, laboratory workshops and other non-scientific literature must not be referenced. References to patents should be made in the text of the article, indicating only the number and title of the patent. In the list of references, the sources should be presented in alphabetical order.

The investigations of scientists from all over the world should be analyzed in the article. Based on the analysis of modern articles from English-language journals, the relevance of the topic in the world should be proved, the issues which need to be solved should be identified, and the purpose of the research should be formulated.

8. Tables (in Word and Excel) can be submitted both in the text of the manuscript and in separate files (on separate pages). Each table should have a title, typed in bold, and its serial number if there are several tables. The word “Table” and number are printed in italics; the title is printed in bold. Tables should be in book format and fit freely in the height and width of the journal page.

9. Figures, images and tables should be performed in Corel Draw, Origin on white paper and placed both in the text and in separate files. Captions should be typed in bold directly under the figures. Images must be clear and contrasting (TIF, JPG with a resolution of 300 dpi); the size 6×9. Photos are printed in case of extreme necessity, if they provide information of the significant scientific value.

10. Mathematical formulas should be typed with the correct placing of upper and lower indices. The formulas should be numbered by Arabic numerals in parentheses at the right margin of the page. The indices of Ukrainian abbreviated words should be typed in bold and in lower case. The first word of an index, consisting of two abbreviated words, should be followed by a dot, and the second word has no dot. The numbers in the indexes are typed in upright font. Indexes should be typed in Latin letters and in italics. In formulas, the letters of Latin alphabet are typed in italics; Greek and Ukrainian letters are in upright font.

Chemical formulas should be typed in upright font. Mathematical symbols that make up the chemical formulas should be typed in italics.

Formulas should be put directly into the text. Simple formulas are typed from the keyboard, and complex — using the Microsoft Equation 3.0 object or MathType 5.6. Other equation editors are unacceptable. The characters are inserted only through the symbol table. The contraction of physical units must comply with the rules of the International System of Units (SI).

11. Information about the authors should be given as follows: second name (in uppercase letters), first name and patronymic (in full); academic title; position or profession, place of work; phone number, E-mail.

12. The date when the manuscript was received by the editorial board.

The use of **automatic translation** for any part of your text (manuscript, abstract, keywords) is **not allowed**. Translation must be of good quality.

The absence of any item listed above; absence of abstracts; non-compliance to the design requirements; spelling, grammatical, stylistic errors; automatic translation of any part of the manuscript are the grounds **for refusal** to accept the manuscript for publication.

The author is fully responsible for compliance with current legislation, including the rules of copyright and the consistency of data (quotations, references, names, etc.).

Editorial office address:

National University of Food Technologies
Volodymyrska str., 68,
building B, room 412
01601 Kyiv, Ukraine
E-mail: npnuht@ukr.net