



2023

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 29 № 4

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

КИЇВ ✧ НУХТ ✧ 2023

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 # 1 from 7th of September, 2023

© NUFT, 2023

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

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

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

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

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

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

Адреса редакції:

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

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій.
Протокол № 1 від 7 вересня 2023 року

© НУХТ, 2023

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор

Editor-in-Chief

Олександр Шевченко

Oleksandr Shevchenko

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Відповідальний секретар

Accountable secretary

Анастасія Шевченко

Anastasiia Shevchenko

канд. техн. наук, доц., Україна

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

Члени редакційної колегії:

Агота 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

Anatoly Zainchkovskiy

д-р екон. наук, проф., Україна

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

Анатолій Ладанюк

Anatoly 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 Litvynchuk	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Сергій Чумаченко Serhii Chumachenko	д-р техн. наук, ст. наук. сп., Україна Ph. D. Hab., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Хууб Лелієвельд Huub Lelieveld	д-р наук, проф., Нідерланди Ph. D. Hab., Prof., President of the Global Harmonization Initiatives, the Netherlands

Автоматизація та інформаційні технології

Чаплінський Ю. П. Використання онтологій в управлінні безпечністю продуктів харчування

Ромащук О. М. Інтелектуалізація прикладних функцій керування технологічним комплексом цукрового заводу

Дерман В. А., Петрухін С. Ю. Багатовимірна математична модель представлення інформації щодо екологічного стану природно-техногенної геосистеми для автоматизованої системи управління харчовим підприємством в умовах російської агресії

Біотехнології

Пирог Т. П., Парфенюк М. А. Вплив конкурентних еукаріотичних мікроорганізмів на синтез і властивості вторинних метаболітів. Частина 2. Дріжджі як регулятори синтезу та біологічної активності вторинних метаболітів

Скороцька О. І., Марченко В. В., Коваль Р. В. Біосинтез наночастинок благородних металів. Частина 2. Використання ціанобактерій водоростей

Економіка, менеджмент і маркетинг

Сімкін Д. О., Петухова О. М. Використання аутсорсингу на підприємствах харчової промисловості: теорія, практика, особливості

Механічна та електрична інженерія

Циганкова Г. А. Електромагнітне поле в електродинамічних пристроях складної конструкції

Мирончук В. Г., Кривопляс-Володіна Л. О., Гера В. М., Володін С. О. Інноваційні запірно-регулювальні пристрої в технологічних потоках виробництва цукру

Зінкевич П. О., Балута С. М. Системний аналіз і підходи до розробки автоматизованої системи електрозабезпечення цивільних об'єктів з фотоелектричними станціями та накопичувачами електроенергії

Automation and information technologies

Chaplinsky Y. Ontology for management of food safety

Romashchuk O. Intellectualization of the applied functions of management of the technological complex of the sugar enterprise

Derman V., Petrukhin S. A multidimensional mathematical model of the presentation of information regarding the environmental state of the natural and technological geosystem for the automated system of management of a food enterprise in the conditions of russian aggression

Biotechnologies

Pirog T., Parfeniuk M. Influence of competitive eukaryotic microorganisms on the synthesis and properties of secondary metabolites. Part 2. Yeast as regulators of synthesis and biological activity of secondary metabolites

Skrotska O., Marchenko V., Koval R. Biosynthesis of noble metal nanoparticles. Part 2. Use of cyanobacteria and algae

Economy, Management and Marketing

Simkin, D. Pietukhova O. The usage of outsourcing at food industry enterprises: theory, practice, features

Mechanical and Electrical Engineering

Tsygankova G. Electromagnetic field in electrodynamic devices of complex design

Myronchuk V., Kryvoplias-Volodina L., Hera V., Volodin S. Innovative shut-off and control devices in sugar production process flows

Zinkevych P., Baluta S. System analysis and approaches to the development of an automated power supply system for civil objects with photoelectric plants and electricity storage

Харчові технології

Сімахіна Г. О., Камінська С. В. Контроль мікробіологічної безпеки продукції ресурсоефективних низькотемпературних технологій

Демидова А. О., Носенко Т. Т., Шеманська Є. І. Дослідження ефективності ферментативного екстрагування рослинних антиоксидантів

Башта А. О., Стеценко Н. О., Бажай-Жежерун С. А. Дослідження особливостей харчування студентської молоді і рівня її усвідомлення факторів ризику хронічних неінфекційних захворювань

Іващенко О. М., Поліщук Г. Є. Дослідження показників якості йогуртів з мальтодекстрином і сухим глюкозним сиропом

Шевченко А. О., Литвинчук С. І., Галенко О. О. Структурно-механічні та конформаційні зміни в процесі виготовлення пшеничного хліба з концентратом рисового протеїну

Хімічні науки

Кроніковський О. І., Сокол Є. В., Кроніковська О. П., Стаднічук Н. О. Екстракційно-аналітичні характеристики комплексів карбоксилатів металів з краун-етерами

Новини освіти і науки

Доробок українських науковців від видавництва CRC Press

Food Technologies

126 Simakhina G., Kaminska S. The control of microbiological safety of foodstuffs made with resource-effective technologies

137 Demydova A., Nosenko T., Shemanska Y. Study on the enzymatic extraction of plant antioxidants

148 Bashta A., Stetsenko N., Bazhay-Zhezherun S. Study of nutritional characteristics of university students and their level of understanding of risk factors for chronic non-communicable diseases

162 Ivashchenko O., Polishcuk G. Research of quality indicators of yogurts with maltodextrin and dry glucose syrup

176 Shevchenko A., Litvynchuk S., Galenko O. Structural and mechanical and conformational changes in the process of making wheat bread with rice protein concentrate

Chemical sciences

185 Kronikovskiy O., Sokol E., Kronikovska O., Stadnichuk N. Extraction and analytical characteristics of complexes of metal carboxylates with crown ethers

ONTOLOGY FOR MANAGEMENT OF FOOD SAFETY

Y. Chaplinsky

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine

Key words:

*Food safety
Decision-making
Ontology
Controlled vocabulary
Knowledge graph*

Article history:

Received 11.07.2023
Received in revised form
31.07.2023
Accepted 11.08.2023

Corresponding author:

Y. Chaplinsky

E-mail:

cyuriy2011@gmail.com

Citation: Ю. П. Чаплінський (2023). Використання онтологій в управлінні безпечністю продуктів харчування. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 7—19.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-3

ABSTRACT

Modern tasks and real situations, which are formed in the food safety management system, are determined by the ever-increasing complexity of problematic situations, the need to being accounted and taking into account a large number of interrelated factors. Knowledge is becoming one of the main means of taking into account such features of food safety management. As a modern intellectual tool for the use of knowledge, ontologies and an ontological approach to support decision-making for solving food safety problems were considered.

Different types of ontology-oriented tools: controlled vocabulary, ontology, graph knowledge base were analyzed in the article. Examples of controlled vocabularies that define terminology used in the food industry, relationships between terms, and certain properties of food products were provided in the article. Modern developments of ontologies were presented, which allowed ontologies to be considered as a means of clearly presenting the understanding of decision-making processes in a certain problem area and making decisions based on them. Ontology described the structure of a specific problem area or a set of problem areas and consisted of a set of classes of terms connected by relations, their definitions and axioms that set restrictions on the interpretation of these terms within the framework of a given problem area or their set. Graph knowledge bases, or knowledge graphs, that implement a data model that uses semantics to represent real-world objects and the relationships between them were considered. Knowledge graphs provided an opportunity to start creating ontologies, visually present them, analyze and model complex situations. The considered ontology-oriented tools enable the development of integrated decision-making media for solving food safety problems that integrate methods of system, process and situational analysis.

ВИКОРИСТАННЯ ОНТОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ БЕЗПЕЧНІСТЮ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

Ю. П. Чаплінський

Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України

Сучасні завдання та реальні ситуації, які складаються в системі управління безпечністю продуктів харчування, визначаються зростаючою складністю проблемних ситуацій, необхідністю обліку й урахування великої кількості взаємопов'язаних факторів тощо. Сьогодні знання стають одним із головних засобів урахування таких особливостей управління безпечністю продуктів харчування. Як сучасний інтелектуальний інструмент використання знань розглядають онтології та онтологічний підхід до підтримки прийняття рішень для розв'язання задач безпеки продуктів харчування.

У статті проаналізовано різні види онтолого-орієнтованих засобів: керований словник, онтологія, графова база знань. Наведено приклади керованих словників, які визначають термінологію, що використовується в харчовій галузі, визначають зв'язки між термінами і певні властивості продуктів харчування. Наведено сучасні розробки онтологій, які дають змогу розглядати онтології як засіб явного представлення розуміння процесів прийняття рішень у певній проблемній області та прийняття рішень на їх основі. Онтологія описує структуру певної проблемної області або множини проблемних областей і складається з множини класів термінів, зв'язаних відношеннями, їх визначень та аксіом, що задають обмеження на інтерпретацію цих термінів у межах певної проблемної області або їх множини. Розглянуто графові бази знань або графи знань, що реалізують модель даних, яка використовує семантику для представлення об'єктів реального світу та зв'язків між ними. Графи знань надають можливість почати створювати онтології, візуально їх представити, проводити аналіз і моделювання складних ситуацій. Розглянуті онтолого-орієнтовані засоби дають змогу створювати інтегровані середовища прийняття рішень для розв'язання задач безпеки продуктів харчування, що інтегрують у собі методи системного, процесного та ситуаційного аналізу.

Ключові слова: безпека продуктів харчування, прийняття рішень, онтологія, керований словник, граф знань.

Постановка проблеми. Реальні ситуації, які складаються в системі управління безпечністю продуктів харчування, визначаються зростаючою складністю проблемних ситуацій, необхідністю обліку й урахування великої кількості взаємопов'язаних факторів і вимог щодо показників якості й безпечності продуктів харчування тощо. В цих умовах інтелектуальні можливості фахівців можуть не узгоджуватися з об'ємом інформації, який необхідно осмислити та переробити в ході управління різноманітними процесами. Сьогодні знання стають одним із головних чинників до підвищення безпечністю продуктів харчування.

Під управлінням знаннями розуміють технологію, що включає комплекс формалізованих методів, що охоплюють пошук, структурування і систематизацію,

зберігання, аналіз, оновлення, поширення та генерацію нових знань.

Для врахування перерахованих особливостей і властивостей виробництв та технологій і багатьох інших вимог, що виникають у процесі функціонування системи управління безпекою продуктів харчування, потрібна побудова єдиної технології прийняття рішень, що дає змогу виробляти найбільш прийнятні рішення. Слід зазначити, що сучасні розв'язки прикладних задач є результатом поєднання та інтеграції знань, розуміння та ідей розв'язання множин взаємозв'язаних задач з різних предметних областей.

Як сучасний інструмент для реалізації наведеного вище розглядають онтології та онтологічний підхід до підтримки прийняття рішень. Під онтологією будемо розуміти систему, що описує структуру певної проблемної області і складається з множини класів понять, пов'язаних відношеннями, їх визначень та аксіом, що задають обмеження на інтерпретацію цих понять у межах певної проблемної області (Staab, Studer, Schnurr, & Sure, 2001).

Основною перевагою використання онтологій та онтологічного підходу є можливість реалізації цілісного підходу до процесів прийняття рішень і представлення областей прийняття рішень, що інтегрує методи системного, процесного та ситуаційного аналізу.

Слід зауважити, що не існує стандартної методології для представлення проблемних областей на основі онтолого-керованих технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні інтерес та необхідність у використанні знання-орієнтованих технологій, що базуються на онтологіях, визначається використанням комп'ютерних технологій у системах управління виробничою сферою, якими необхідно керувати й обмінюватися даними, і необхідністю гармонізувати різні термінології для полегшення використання та взаємодії. В рамках Індустрії 4.0 (Lu, 2017), до якої можна віднести і харчову галузь та, відповідно, безпеку продуктів харчування, що керується та базується на обробці великих даних і реалізується через цифрові екосистеми й цифрові платформи, онтології знаходять своє місце для представлення виробничого процесу та підтримки процесу прийняття рішень. Так, сучасні дослідження в галузі виробництва спрямовані на встановлення концептуальних і формальних основ виробничих онтологій (Usman та ін., 2013), зосереджені на використанні онтологій у прикладних системах (Perzylo, Somani, Rickert, & Knoll, 2015), на онтологічному представленні складних виробничих ресурсів, таких як кіберфізичні виробничі системи (Horvath, & Gerritsen, 2012).

При цьому велику увагу приділяють представленню знань про продукт виробництва, що, у свою чергу, веде до онтологій щодо функцій, компонентів або якості продуктів виробництва (Imran, & Young, 2015). Сьогодні використання інформаційних систем у виробництві сприяло розвитку онтологій у таких сферах виробництва, як проектування промислових установок або (пере)конфігурації (Kadar, Terkaj, & Sacco, 2013), управління ланцюгами постачання (Palmer та ін., 2016) та системи обслуговування продуктів виробництва (Shani, Franke, Hribernik, & Thoben, 2017).

Мета дослідження: проаналізувати сучасний стан і розвиток розробки й використання онтолого-орієнтованих інформаційних технологій, метою яких є підтримка розв'язання задач управління безпекою продуктів харчування.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження стали публікації й розробки щодо створення та використання сучасних знання-орієнтованих засобів, що стосуються проблематики безпеки продуктів харчування.

Викладення основних результатів дослідження. Проблема безпечності продуктів харчування (Димань, & Мазур, 2011) — складна комплексна проблема, що вимагає численних зусиль для її вирішення. Сучасна реалізація системи управління безпечністю продуктів харчування базується на використанні інтелектуальних інформаційних технологій, які допомагають приймати рішення споживачам, виробникам продуктів харчування, роздрібним торговцям та іншим учасникам. Сьогодні це розглядається в контексті «Інтернету продуктів харчування» (Internet of Food, IoF) (Boulos, Yassine, Shirmohammadi, Namahoot, & Bruckner, 2015).

Для того, щоб інформацію, що стосується сфери продуктів харчування та несе семантичне навантаження, можна було використовувати в інформаційних технологіях, їх потрібно зробити зрозумілими для них. Залежно від мети використання можна використати різні види семантичного представлення інформації: керований словник, онтологія, графова база знань.

Під керованим словником (Harpring, 2010) розуміють засіб, який надає можливість визначати термінологію, що використовується в певній галузі. В керованому словнику визначаються терміни та їхні синоніми, які використовуються для визначення, індексування або категоризації. Визначені терміни та їхні синоніми можуть формувати тезауруси й таксономії, які розглядають як специфічні види керованих словників. Зв'язки між термінами можуть існувати або не існувати в керованому словнику. Такі словники реалізуються за допомоги SKOS (Simple Knowledge Organization System) і представляють собою легкі онтології.

У разі необхідності формалізувати опис проблемної області, визначити та застосувати правила поведінки системи управління, організувати взаємодію між компонентами системи, користувачем і системою, що дає змогу автоматично адаптувати поведінку системи при зміні ситуацій та залежно від відповідного контексту використовують онтології. Під онтологією (Чаплінський, 2013) будемо розуміти засіб явного представлення розуміння процесів прийняття рішень у певній проблемній області.

Онтології, зазвичай, описуються за допомогою RDF, RDFS, OWL. RDF (Resource Description Framework) — це модель опису (формат опису) інформації про ресурси у вигляді структур, що дає змогу об'єднувати інформацію з різних джерел. Мова RDFS (RDF Schema) — мова опису словників RDF-термінів (класів і властивостей Web-ресурсів). OWL (Ontology Web Language) — стандарт W3C для визначення онтологій, мова опису онтологій, що базується на дескрипційній логіці. OWL надає механізми для створення всіх необхідних компонентів онтології: понять, екземплярів і властивостей (або відносин).

Наступним засобом семантичного представлення проблемної області є графові бази знань або графи знань. Граф знань — це модель даних, яка використовує семантику для представлення об'єктів реального світу та зв'язків між ними. Їх розглядають як сховище, що містить онтологію у вигляді триплетів, тобто базою графа знань є модель знань: набір взаємопов'язаних описів понять, сутностей, зв'язків і подій. Вершиною графа виступають суб'єкти та об'єкти, дугами —

предикати (відношення, зв'язок або властивості). Графи знань, представлені в RDF або LPG (Labeled Property Graph), забезпечують найкращу структуру для інтеграції, уніфікації, зв'язування та повторного використання знань.

Керований словник є відправною точкою в створенні інтелектуальних засобів розв'язання складних задач, якими є задачі безпеки продуктів харчування. Першим кроком у використанні знань є побудова ієрархічних структур класів, або таксономій, що реалізується в керованому словнику.

Розглянемо приклади засобів, які можна віднести до керованих словників та які стосуються сфери безпеки продуктів харчування, наприклад:

Стандарти GS1. Глобальна класифікація продуктів GPC (Global Product Classification, 2023) містить класифікацію тисяч продуктів, включаючи продукти харчування, напої та тютюн, які представляються через ієрархією на чотирьох рівнях: сегмент, сімейство, клас і блок. Для представлення даних про продукцію в GS1 було розроблено стандарт GDSN (Global Data Synchronization Network) (GS1 GDSN release, 2023). Властивості в GDSN стосуються певних характеристик продуктів, наприклад: сорт, рід, розмір, вид, тип приготування, інгредієнти, внутрішній колір м'якоти. Словник GS1 (Web GS1 Web Vocabulary, 2023), або стандарт GS1 SmartSearch, є зовнішнім розширенням schema.org (Schema.org, 2023).

LanguaL. *LanguaL* (Moller, & Ireland, 2017) — це тезаурус (керований словник) для опису даних про продукти харчування, зокрема для класифікації продуктів харчування та для пошуку інформації за певними ознаками. Він використовувався в США та Європі для банків даних про склад продуктів харчування (поживні речовини та забруднювачі), споживання продуктів харчування та законодавство. У *LanguaL* кожний продукт харчування описується набором термінів, які визначають властивості та які характерні для певного продукту харчування, як, наприклад, біологічне походження, методи приготування та консервації, а також технологічні обробки. Щоб зробити *LanguaL* незалежною від природних мов, її було організовано з використанням абстрактних ідентифікаторів на основі унікальних кодів. *LanguaL* базується на концепції, що будь-який продукт харчування можна цілісно описати за допомогою комбінації характеристик.

EUroFIR Thesauri. *EUroFIR Thesauri* (Moller, 2008) пропонує множину керованих словників про склад продуктів харчування. Специфікації базуються на моделі реляційної бази даних, що містить чотири основні сутності (продукт харчування, компонент, цінність, посилання) та інші додаткові сутності. Опис продуктів харчування регулюється тезаурусом *LanguaL*.

AGROVOC. *AGROVOC* (AGROVOC, 2023) представляє собою великий багатомовний тезаурус, термінологія якого широко використовується на практиці для предметних галузей у сільському господарстві, рибальстві, лісовому господарстві, харчуванні та суміжних областях, тобто охоплює всі області знань, що представляють інтерес для продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО). Словник складається з більш ніж 32000 понять, до 40000 термінів на 23 мовах, включаючи українську мову. *AGROVOC* використовується в спеціалізованих електронних бібліотеках і цифрових сховищах для індексування та пошуку даних. *AGROVOC* можна вважати основою для єдиної харчової онтології, яка охоплює всі види продуктів харчування у світі.

FoodEx2. FoodEx2 (Food classification standardisation — The FoodEx2 system, 2023) являє собою стандартизовану систему класифікації та опису продуктів харчування. Ця система складається з описів великої кількості окремих продуктів харчування, об'єднаних у групи продуктів та категорії продуктів за допомоги ієрархічних відношень. Центральним у системі є основний список продуктів харчування та їх загальні описи, які передбачають мінімальний рівень деталізації, необхідний для оцінки споживання або оцінки впливу. Більш детальні описи можна знайти в «розширеному списку».

FoodDB. FoodDB (FoodDB, 2023) — це безкоштовний Інтернет-ресурс про продукти харчування, який охоплює сирі та необроблені фрукти, спеції, овочі, трави тощо. FoodDB містить інформацію про понад 28 000 хімічних речовин, які містяться у понад 1000 сирих або необроблених продуктах харчування. FoodDB надає інформацію про макроелементи та мікроелементи, включаючи компоненти, які надають харчовим продуктам смак, колір, смак, текстуру та аромат. Кожен запис у FoodDB містить понад 100 окремих полів даних, що охоплюють детальну інформацію про склад, біохімічну та фізіологічну інформацію, отриману з літературних джерел. Такі записи включають дані про речовину, її опис, інформацію про її структуру, хімічний клас, її фізико-хімічні дані, джерело(а) отримання, колір, аромат, смак, фізіологічний ефект, передбачуваний вплив на здоров'я на основі досліджень, що опубліковані, та концентрації в різних продуктах харчування.

Open Food Facts. Open Food Facts (Open Food Facts, 2023) являє собою глобальну базу даних продуктів харчування з відкритим вихідним кодом, яка дозволяє користувачам дізнаватися про поживну інформацію продуктів харчування та порівнювати продукти з різних куточків світу. Ідея Open Food Facts — надати інформацію користувачам, щоб вони могли зрозуміти маркування продуктів харчування та вибрати здорову їжу, яка містить менше потенційно шкідливих речовин. Ця система є корисною для фахівців харчової промисловості, які можуть використовувати Open Food Facts для відстеження, моніторингу та стратегічного планування виробництва продуктів харчування. Користувачі можуть додавати продукти харчування в базу даних Open Food Facts.

GoodRelations. GoodRelations (Hepp, 2008) — це легка онтологія для обміну даними про продукти харчування, пропозиції, точки продажу, ціни, положення та умови в Інтернеті. GoodRelations можна використовувати в усіх синтаксисах RDF, який підтримує шаблон Entity-Attribute-Value. GoodRelations вміщує опис продукту харчування та його специфікації незалежно від конкретної предметної області. GoodRelations складається з 16 верхніх категорій та більш ніж 300 підкатегорій, з максимальною глибиною, рівній 4. GoodRelations використовується великими компаніями, такими як Google, Yahoo, Best Buy тощо.

Через керовані словники або через засоби, які їх використовують, користувачі можуть отримувати доступ і обмінюватися даними про продукти харчування в усьому світі, отримувати пов'язану з ними інформацію та систематизувати знання про продукти харчування, включаючи інформацію про їх небезпечність, що принесе користь різним зацікавленим сторонам, таким як дослідники, виробники продуктів харчування, дистриб'ютори харчових продуктів, роздрібні продавці та споживачі.

Використання керованих словників дає змогу отримувати дані стосовно продуктів харчування, але при розв'язанні задач управління безпечністю продуктів харчування необхідна інтеграція різнорідної інформації та знань щодо гарантування безпечності продуктів харчування, необхідне управління розв'язанням задач, що виникають. Це забезпечують онтології, що дають змогу реалізувати інтегрований погляд на сферу безпеки продуктів харчування:

RICHIFIELDS ontology. Онтологія RICHIFIELDS (Eftimov, Ispirova, Korosec, & Seljak, 2018) складається з шести суперкласів: Component, Food, FoodGroup, Personal, Single Nucleotide Polymorphism та Unit. RICHIFIELDS базується на розумінні, що необхідно визначити онтологію, яка охоплює область інтересу, пов'язану з продуктами харчування та харчуванням, і яку можна використовувати для семантичної сумісності харчової інформації. Структура RICHIFIELDS включає харчову онтологію, з якою пов'язані продукти харчування; складову, яка пояснює, як відповідні харчові продукти харчування визначити та представити структурованим способом; міру подібності, яка використовується для зв'язку харчових продуктів з онтологією. RICHIFIELDS використовує онтологію одиниць вимірювання (онтологія для стандартизації одиниць вимірювання в біомедичній сфері, UO) (Gkoutos, Schofield, & Hoehndorf, 2012), яка нині використовується в багатьох наукових ресурсах для стандартизованого опису одиниць вимірювання.

Onto-FP. Onto-FP (Muljarto, Salmon, Neveu, Charnomordic, & Buche, 2014) призначений для надання дослідникам основи для систематизації та формування своїх знань на основі семантики. Областю Onto-FP є харчова промисловість. Onto-FP охоплює спектр діяльності від збирання врожаю, підготовки, проміжних процесів і кінцевих процесів виробництва продуктів харчування. В Onto-FP визначені чотири основні класи подання загального процесу трансформації харчового продукту: продукція, операція, атрибут, спостереження. Відношення між основними елементами згруповані в чотири категорії: відношення між двома або більше продуктами; відношення між продуктами та операціями; відношення між двома або більше операціями; відношення, що пов'язані зі спостереженнями.

FoodOn. FoodOn (Dooley та ін., 2018) — це онтологія, направлена на розробку семантичного представлення знань щодо безпеки продуктів харчування, продовольчої безпеки, сільськогосподарських і тваринницьких практик, пов'язаних з виробництвом продуктів харчування, кулінарними, харчовими та хімічними інгредієнтами й процесами. Онтологія FoodOn відкрита і доступна на GitHub (<https://github.com/FoodOntology>). Метою FoodOn є створення контенту, що представляє продукти харчування та пов'язані процеси. Ця онтологія використовується при проведенні досліджень в наукових і державних установах.

Food-Biomarker Ontology (FOBI). FOBI (Castellano-Escuder, González-Domínguez, Wishart, Andres-Lacueva, & Sánchez-Pla, 2020) — це вільна комплексна онтологія, що складається з двох взаємопов'язаних онтологій: онтології харчування (сирі продукти харчування та багатокomпонентна їжа), і онтології біомаркерів (містить біомаркери споживання продуктів харчування, класифіковані за їхніми хімічними класами). Ці дві онтології є концептуально незалежними, але пов'язані між собою різними властивостями. Онтологія харчування описує основні інгредієнти, що входять до складу кожної багатокomпонентної їжі відповідно до літера-

турних джерел. Крім того, FOBI також включає ідентифікатори FoodOn для продуктів харчування, спільних для обох онтологій. При створенні онтології біомаркерів було розглянуто майже 600 відомих харчових метаболітів, включаючи харчові сполуки та їхні метаболіти, отримані з організму господаря та мікробіоти. FOBI складається з 1197 термінів, 4 різних властивостей, 13 класів харчових продуктів верхнього рівня, 11 класів біомаркерів верхнього рівня та понад 4500 взаємозв'язків.

FOODS (Food-Oriented Ontology-Driven System). FOODS (Snae, & Brückner, 2008) — це онтолого-керована система, яка надає Інтернет-орієнтовану систему рекомендацій щодо меню для пацієнтів з діабетом у Таїланді. Онтологія містить специфікації інгредієнтів, речовин, фактів харчування, що рекомендовані для щоденного споживання у розрізі різних регіонів, страв і меню. FOODS поширює знання на вміст та інгредієнти, як описано виробником. Використовуючи FOODS підприємства можуть допомагати клієнтам, надаючи відповідні пропозиції страв та меню з урахуванням індивідуальних харчових профілів. Їжа класифікується за дев'ятьма основними поняттями: регіональна кухня, страви, напої, інгредієнти, наявність, поживні речовини, хвороби на основі харчування, способи приготування, посуд та ціни. Існує два різних інтерфейси залежно від ролі користувача: перша частина для кухарів або людей, які готують їжу; друга частина — для клієнтів або користувачів, які хочуть отримати пораду про харчування або замовити існуючі страви, тобто в ресторані. FOODS використовує мову OWL.

FoodWiki. FoodWiki (Çelik, 2015) є онтолого-керованою, мобільною інформаційною системою охорони здоров'я з питань безпечного споживання продуктів харчування. Це дає змогу користувачам/пацієнтам в групах ризику аналізувати та контролювати споживання їжі. Ця система включає бази знань і механізми пошуку, які на основі запитів користувачів рекомендує відповідне споживання продуктів харчування. Мета FoodWiki полягає в наданні допомоги та докладної інформації щодо продуктів харчування під час покупки цих товарів. FoodWiki орієнтована на фасовану продукцію, що присутня на турецькому ринку. Коли людина робить усвідомлений вибір щодо споживання продуктів харчування, вона може максимізувати якість свого життя і звести до мінімуму використання шкідливих для здоров'я речовин при харчуванні. Підхід, що лежить в основі FoodWiki, базується на єдиному словнику.

CC-HACCP Ontology. Онтологія CC-HACCP (Mu, & Zhang, 2015) — це онтологія холодового ланцюга (cold chain) HACCP, що реалізує семантичний опис знань і підтримує обмін інформацією щодо моніторингу та управління небезпеками холодового ланцюга в рамках HACCP. CC-HACCP включає певну множину основних класів: аналіз ризиків і критичні контрольні точки HACCP, суб'єкти холодового ланцюга CC_Role, товари холодового ланцюга CC_Cargo та бізнес-процеси холодового ланцюга CC_Step. У CC-HACCP визначено клас HACCP, що складається з критичної контрольної точки CCP, аналізу небезпек HA, заходів контролю CM, граничних значень критичної контрольної точки CL, коригувальних заходів CA, перевірки VE та записи RE. Клас CC_Role включає такі ролі: Raw_Material_Supplier, Виробник, Logistics_Service_Provider, Оптовий продавець і Роздрібний продавець. Клас CC_Cargo розділено на два типи Frozen_Cargo та Refrigerated_Cargo за діапазоном температур зберігання. Клас бізнес-процесу

CC_Step визначає абстрактні конкретні кроки бізнес-процесу холодового ланцюга. CC_Step відповідає за роботу складових CC_Role. Для представлення об'єктів моніторингу використовується клас CC_Proof, який використовується для виявлення відповідності граничному значенню критичної контрольної точки CCP.

Hazard Ontology ma HACCP Ontology. Hazard Ontology (Letia, & Groza, 2010) представляє можливі небезпеки в певній сфері виробництва продуктів харчування. Небезпеки визначаються як біологічні, хімічні або фізичні агенти, які можуть спричинити захворювання або травми у споживачу. HACCP Ontology (Letia, & Groza, 2010) визначає основні поняття стандарту HACCP. HACCP Ontology включає визначення потенційних небезпек у кожній точці виробничого процесу. HACCP Ontology дає змогу під час аналізу небезпек оцінити значущість кожної небезпеки на основі ймовірності виникнення та тяжкості. HACCP Ontology надає можливість реалізації обґрунтування небезпеки, заходів контролю, відповідних критичних меж. На основі представлених онтологій була розроблена система контролю переробки креветок.

Варто зазначити, що жодна з розглянутих онтологій не є повністю всеосяжною з точки зору масштабів і сфери охоплення (деякі з них призначені для дуже конкретних цілей або регіонів), але вони можуть бути використаними як основа для розробки засобів розв'язання задач з безпеки продуктів харчування. Подолання обмеженого використання цих онтологій для задач прийняття рішень у галузі безпеки продуктів харчування вимагає розробки підходів, які базуються на онтологічному підході та охоплюють широку сферу задач прийняття рішень з безпеки продуктів харчування.

В Інституті кібернетики НАН України при виконанні науково-дослідних робіт щодо створення технологій підтримки прийняття рішень для розв'язання прикладних задач були розроблені знанне-орієнтовані інформаційні технології, які базуються на знаннях у вигляді онтологій і контексту. Така онтологія (Чаплінський, 2013) базується на взаємопов'язаній множині онтологій, що представляє собою багаторівневу асоціативну структуру.

При виконанні науково-дослідних робіт щодо підтримки прийняття рішень на основі системної оптимізації був розроблений прототип онтології підтримки розв'язання задач системи управління безпекою продуктів харчування. Ця онтологія базується на термінах, що описують область безпеки продуктів харчування у розрізі законодавства, документації, акторів ринку, небезпеки, управління безпекою харчових продуктів на основі принципів HACCP. Також описуються технології виробництва продуктів харчування, підприємство, діяльність підприємства та об'єкти систем підприємства, що пов'язані з безпекою продуктів харчування. Проблемна онтологія дає змогу інтеграції визначених термінів для представлення розв'язання певних задач у відповідних предметних областях, наприклад, визначення критичних контрольних точок виробництва продуктів харчування. Для конкретизації розв'язання задачі використовується контекстна онтологія, яка дає змогу представити конкретне розв'язання задачі для конкретного підприємства та для конкретного продукту харчування через модель деякого контексту (Чаплінський, & Субботіна, 2016). Створена онтологія реалізована на мові OWL. Для доступу для певної інформації використовується мова запитів SPARQL.

Для того, щоб почати створювати онтології, візуально їх представити, використовують графові бази знань, або графи знань. Графи знань можна використовувати для розуміння та моделювання складних концепцій. Графи знань можна використовувати для розуміння зв'язків між даними.

Розглянемо приклади графів знань, які можна використати при розв'язанні задач безпеки продуктів харчування:

FoodKG (Food Knowledge Graph). FoodKG (Hausmann та ін., 2019) — це графова база знань, мета якої допомогти людям персоналізувати свої дієтичні цілі, надаючи їм інформацію для покращення узгодженості між їх харчовою поведінкою та загальними рекомендаціями щодо харчування. FoodKG базується на трьох основних джерелах даних: рецепти та раціони, поживний вміст інгредієнтів та харчову онтологію для організації інгредієнтів. Як рецепти та раціони в FoodKG використовують інформацію з Інтернет-сайтів рецептів і раціонів. Для інгредієнтів FoodKG використовує національну базу даних поживних речовин Міністерства сільського господарства США, яка містить приблизно 8000 записів для різних типів продуктів харчування та їх поживні речовини. Як харчова онтологія використовується онтологія FoodOn (Dooley та ін., 2018). FoodOn надає систематику продуктів харчування. Однак FoodOn не є довідником, тому FoodOn не має детальної інформації про поживний вміст продуктів харчування. FoodKG містить декілька ключових компонентів: рецепти, раціони та їхні інгредієнти; харчові дані для окремих продуктів харчування; додаткові знання про продукти харчування; зв'язки між наведеними вище компонентами.

FKG (Food Knowledge Graph (from World Food Atlas Project)). FKG (Rostami, Xie, Ishino, Yamakata, Aizawa, & Jain, 2021) — це колекція взаємопов'язаної описової інформації про різні аспекти їжі. FKG є складовою частиною World Food Atlas Project (WFA). Мета WFA акумулювати інформацію, пов'язану з усіма стравами та продуктами харчування, які доступні людині в будь-якій точці світу. FKG містить різні виміри підключення та різні типи вузлів. Вузли інгредієнтів пов'язані між собою семантично ієрархічною структурою, отриманою з онтології FoodOn (Dooley та ін., 2018), яка надає інформацію щодо подібності між різними інгредієнтами та діє як основа формальної семантики FKG. Вузли в категорії інгредієнтів можуть бути фактичними вузлами конкретних інгредієнтів, або абстрактними вузлами, які представляють клас інгредієнтів. Ієрархічні зв'язки між вузлами інгредієнтів гарантують, що інгредієнти в одній категорії завжди мають короткий шлях один до одного, ніж до вузлів поза категорією. Вузли можуть містити географічну інформацію, таку як географічна доступність, популярність і походження страв та деяких інгредієнтів.

Використання графів знань дає змогу розробляти нові рецепти, виявляти кореляції між дієтою та захворюваннями, знаходити альтернативні інгредієнти, персоналізовані рекомендації щодо дієти, управління ланцюгом постачання їжі, знизити витрати на виробництво харчових продуктів та інтелектуальне виробництво харчового обладнання.

Висновки

Використання розглянутих знання-орієнтованих технологій при управлінні безпекою продуктів харчування, в основі яких лежать онтології, включаючи і

легкі онтології, дають можливість реалізації задач від отримання релевантної, зрозумілої, реальної та доступної інформації для розв'язання конкретної задачі, до підтримки функціонування систем управління безпекою продуктів харчування.

Результати роботи буде використано в рамках науково-дослідної роботи «Розробка онтолого-керованих методів підтримки створення та функціонування системи управління безпечністю продуктів харчування на основі процедур системної оптимізації».

ЛІТЕРАТУРА

- Димань, Т. М., & Мазур, Т. Г. (2011). *Безпека продовольчої сировини і харчових продуктів: підручник*. Київ: Академія.
- Чаплінський, Ю. П. (2013). Онтологічні складові підтримки прийняття управлінських рішень. *Наукові праці НУХТ*, 48, 65—58. Взято з http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2013_48_12.
- Чаплінський, Ю. П., Субботіна, О. В. (2016). Онтологія та контекст при розв'язанні прикладних задач прийняття рішень. *Штучний інтелект*, 2, 147—155. Взято з http://nbuv.gov.ua/UJRN/II_2016_2_18
- AGROVOC Multilingual Thesaurus (2023). Взято з <https://agrovoc.fao.org/browse/agrovoc/en/>.
- Boulos, M. N. K., Yassine, A., Shirmohammadi, S., Namahoot, C. S., Bruckner, M. (2015). Towards an “Internet of Food”: Food Ontologies for the Internet of Things. *Future Internet*, 7, 372—392. doi:10.3390/fi7040372.
- Castellano-Escuder, P., González-Domínguez, R., Wishart, D., Andres-Lacueva, C., Sánchez-Pla, A. (2020). FOBI: an ontology to represent food intake data and associate it with metabolomic data. Database. 2020. 10.1093/databa/baaa033.
- Çelik, D. (2015). FoodWiki: Ontology-Driven Mobile Safe Food Consumption System. *The Scientific World Journal*, 2015. doi:10.1155/2015/475410.
- Chen, Yi, Guo, Y., Fan, Q., Zhang, Q., & Dong, Yu (2023). Health-Aware Food Recommendation Based on Knowledge Graph and Multi-Task Learning. *Foods*, 12(10), 2079; doi:10.3390/foods12102079.
- Dooley, Damion, Griffiths, Emma, Gosal, Gurinder, Buttigieg, Pier Luigi, Hoehndorf, Robert ... Hsiao, William. (2018). FoodOn: a harmonized food ontology to increase global food traceability, quality control and data integration. *npj Sci Food*, 2, 23, 1—10. doi:10.1038/s41538-018-0032-6.
- Eftimov, T, Ispirova, G., Korosec, P, & Seljak, B. (2018). The RICHFIELDS Framework for Semantic Interoperability of Food Information Across Heterogenous Information Systems. *Proceedings of the 10th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*, Vol. 1, 315—322. doi:10.5220/0006951703150322.
- Food classification standardisation — The FoodEx2 system (2023). Взято з <https://www.efsa.europa.eu/en/data/data-standardisation>.
- FoodDB (2023). Взято з <https://foodb.ca/>.
- Gkoutos, G. V., Schofield, P. N., & Hoehndorf, R. (2012). The Units Ontology: a tool for integrating units of measurement in science. *Database*, 2012, bas033. doi:10.1093/database/bas033.
- Global Product Classification (2023). Взято з <https://www.gs1.org/standards/gpc>.
- GS1 GDSN release (2023). Взято з <https://www.gs1.org/standards/gdsn/3-1-21>.
- GS1 Web Vocabulary (2023). Взято з <https://www.gs1.org/voc/>.
- Haussmann, S., Seneviratne, O., Chen, Yu, Ne'eman, Y., Codella, J., Chen, C., McGuinness, D., & Zaki, M. (2019). FoodKG: A Semantics-Driven Knowledge Graph for Food Recommendation. *The Semantic Web — ISWC 2019*, 146–162 doi:10.1007/978-3-030-30796-7_10.
- Haussmann, S., Chen, Y., Seneviratne, O., Rastogi, N., Codella, J., Chen, C.H., McGuinness, D., & Zaki, M. J. (2019). FoodKG enabled Q&A application. *Proceedings of International Semantic Web Conference*. Взято з <http://ceur-ws.org/Vol-2456/paper71.pdf>.

Harpring, P. (2010). *Introduction to controlled vocabularies: terminology for art, architecture, and other cultural works*. Los Angeles: Getty Publications. Взято з <https://www.getty.edu/publications/virtuallibrary/160606018X.html>.

Hepp, Martin (2008). *GoodRelations: An Ontology for Describing Products and Services Offers on the Web*. Proceedings of the 16th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management, 5268. 329-346. doi:10.1007/978-3-540-87696-0_29.

Horváth, I., & Gerritsen, B. H. (2012). *Cyber-physical systems: Concepts, technologies and implementation principles*. Proceedings of TMCE, 1, 7—11.

Imran, M., & Young, B. (2015). The application of common logic based formal ontologies to assembly knowledge sharing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 26(1), 139—158. Взято з https://www.academia.edu/14501665/Cyber_Physical_Systems_Concepts_technologies_and_implementation_principles.

Kadar, B., Terkaj, W., Sacco, M. (2013). Semantic virtual factory supporting interoperable modelling and evaluation of production systems. *CIRP Annals — Manufacturing Technology*, 62(1), 443—446. doi:10.1016/j.cirp.2013.03.045.

LanguaL. (2023). Взято з <https://www.langua.org/default.asp>.

Letia, I., Groza, A. (2010). Developing Hazard Ontology for supporting HACCP systems in food supply chains. *SIISY 2010 — 8th IEEE International Symposium on Intelligent Systems and Informatics*, 57—62. Взято з 10.1109/SISY.2010.5647189.

Lu, Y. (2017). Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of industrial information integration*, 6, 1—10. doi:10.1016/j.jii.2017.04.005.

Moller, Anders, Unwin, Ian, Ireland, Jayne, Roe, Mark, Becker, Wulff & Colombani, Paolo. (2008). *The EuroFIR Thesauri 2008 EuroFIR Technical Report D1.8.22*. Denmark: Danish Food Information. Взято з https://www.researchgate.net/publication/236035595_The_EuroFIR_Thesauri_EuroFIR_D1822.

Moller, A., & Ireland, J. (2017). *LanguaL 2017 — The LanguaL Thesaurus Technical Report*. Denmark: Danish Food Informatics. doi:10.13140/RG.2.2.23131.26404.

Mu, X., Zhang, Lin (2015). *An Ontology Development For HACCP Knowledge Description and Sharing in Food Cold Chain*. Proceedings of the International Conference on Chemical, Material and Food Engineering, 154—158. doi: 10.2991/cmfe-15.2015.37.

Muljarto, A. R., Salmon, J.-M., Neveu, P., Buche, P., & Charnomordic, B. (2014). Ontology-Based Model for Food Transformation Processes — Application to Winemaking. *Communications in Computer and Information Science*, 478, 32—343. doi:10.1007/978-3-319-13674-5_30.

Open Food Facts (2023). Взято з <https://vest.agrisemantics.org/content/openfood-facts-food-ontology>.

Palmer, C., Urwin, E. N., Pinazo-Sánchez, J. M., Cid, F. S., Rodríguez, E. P., Pajkowska-Goceva, S., & Young, R. I. M. (2016). Reference ontologies to support the development of global production network systems. *Computers in Industry*, 77, 48—60. doi:10.1016/j.compind.2015.11.002.

Perzylo, A., Somani, N., Rickert, M., & Knoll, A. (2015). An ontology for CAD data and geometric constraints as a link between product models and semantic robot task descriptions. *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2015 IEEE/RSJ International Conference*, 4197—4203. doi: 10.1109/IROS.2015.7353971.

Rostami, A., Xie, Z., Ishino, A., Yamakata, Y., Aizawa, K., & Jain, R. (2021). World Food Atlas Project. Proceedings of International Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activities, 33-36. doi:10.1145/3463947.3469235.

Schema.org. (2023). Взято з <https://schema.org/>.

Shani, U., Franke, M., Hribernik, K. A., & Thoben, K. D. (2017). Ontology mediation to rule them all: Managing the plurality in product service systems. *Systems Conference (SysCon), 2017 Annual IEEE International*, 1—7. doi: 10.1109/SYSCON.2017.7934810.

Snae, Chakkrit & Brückner, Michael. (2008). FOODS: A Food-Oriented Ontology-Driven System. *2008 2nd IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (IEEE-DEST 2008)*, 168—176. doi:10.1109/DEST.2008.4635195.

Staab S., Studer R., Schnurr H.-P., & Sure Y. (2001) Knowledge Processes and Ontologies. *IEEE Intelligent Systems*, 16 (1), 26—34. doi:10.1109/5254.912382.

Usman, Z., Young, R. I. M., Chungoora, N., Palmer, C., Case, K., & Harding, J. A. (2013). Towards a formal manufacturing reference ontology. *International Journal of Production Research*, 51(22), 6553—6572. doi:10.1080/00207543.2013.801570.

INTELLECTUALIZATION OF THE APPLIED FUNCTIONS OF MANAGEMENT OF THE TECHNOLOGICAL COMPLEX OF THE SUGAR ENTERPRISE

O. Romashchuk

National University of Food Technologies

Key words:

*Sugar factory
Technological complex
Intellectualization
Management processes
Optimization
Fuzzy regulator*

Article history:

Received 11.07.2023
Received in revised form
28.07.2023
Accepted 14.08.2023

Corresponding author:

O. Romashchuk

E-mail:

alexandr290994@gmail.
com

Citation: O. M. Ромашчук (2023). Інтелектуалізація прикладних функцій керування технологічним комплексом цукрового заводу. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 20—32.
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-4

ABSTRACT

The problems that prevent the successful implementation of modern information systems in the processes of management and automation of production were analyzed in the article on the basis of the identified features of the technological complex of the sugar industry as a complex organizational and technical system. It was established that an important factor in the emergence of these problems is the presence of significant uncertainty in the implementation of the entire range of applied control functions. According to the IPDI principle, consideration of multifaceted uncertainties and their compensation to a certain extent is possible through the use of intelligent mechanisms at all hierarchical levels of complex dynamic object management systems. According to the principles of the scenario approach, the technological complex of the sugar enterprise was intellectually decomposed into situationally significant zones, which were determined by the vague values of the mode parameters of sugar production as linguistic variables. In each situationally significant zone, vector optimization was carried out on the basis of a compromise convolution of control criteria according to Pareto, which ensured the achievement of the best product conditions, maximum production productivity, and reduction of resource losses. Intelligent controllers have been developed at all branches of the sugar enterprise based on fuzzy logic methods, which ensure high quality of transient regulation processes in a wide range of operating disturbances in real conditions, which is confirmed by modeling and implementation in production. The obtained intellectual means are implemented in the form of control system software, which are included in the information vertical of the sugar factory. The implementation of the development of the intelligent component of the control systems of the technological complex of the sugar factory, as shown by the pilot operation, allowed to further increase production productivity by 2.3% and reduce sugar losses by 0.08%.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-4

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРИКЛАДНИХ ФУНКЦІЙ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

О. М. Ромащук

Національний університет харчових технологій

У статті на основі визначених ознак технологічного комплексу цукрової промисловості як складної організаційно-технічної системи проаналізовано проблеми, що заважають успішному впровадженню сучасних інформаційних систем у процеси керування та автоматизації виробництва. Встановлено, що важливим чинником у виникненні цих проблем є наявність значної невизначеності при реалізації всього спектра прикладних функцій керування. Згідно з принципом IPDI урахування різнопланових невизначеностей та їх компенсація можлива шляхом застосування інтелектуальних механізмів на всіх ієрархічних рівнях систем керування складними динамічними об'єктами. За принципами сценарного підходу проведена інтелектуальна декомпозиція технологічного комплексу цукрового заводу на ситуаційно-значущі зони, які визначались за нечіткими значеннями режимних параметрів цукрового виробництва як лінгвістичних змінних. У кожній ситуаційно-значущій зоні проведена векторна оптимізація на основі компромісної згортки критеріїв керування за Парето, що забезпечило досягнення найкращих кондицій продукції, максимальної продуктивності виробництва, скорочення втрат ресурсів. Розроблено інтелектуальні регулятори на всіх відділеннях цукрового заводу на основі методів нечіткої логіки, які забезпечують високу якість перехідних процесів регулювання в широкому спектрі діючих збурень у реальних умовах, що підтверджено моделюванням і реалізацією на виробництві. Отримані інтелектуальні засоби реалізовані у вигляді програмного забезпечення систем керування, які включені в інформаційну вертикаль цукрового заводу. Реалізація розробок інтелектуальної компоненти систем керування технологічним комплексом цукрового заводу, як показала дослідна експлуатація, дала змогу додатково підвищити продуктивність виробництва на 2,3%, скоротити втрати цукру на 0,08%.

Ключові слова: цукровий завод, технологічний комплекс, інтелектуалізація, процеси керування, оптимізація, нечіткий регулятор.

Постановка проблеми. Встановлено, що технологічні комплекси харчових виробництв, зокрема й цукрової промисловості, мають усі характерні ознаки складних організаційно-технічних систем (Ладанюк, Решетюк, Кишенько, & Смітюх, 2014). Серед них можна виділити: багатофакторність; ієрархічна структура систем керування; складний характер поведінки, що характеризується наявністю режимів як детермінованого, так і стохастичного й хаотичного характеру; високий рівень шумів і перешкод; наявність цілей керування конфліктного характеру, значна невизначеність при реалізації прикладних функцій керування (Мірошник, Гачковська, Кишенько, & Грабовська, 2019).

Фактори невизначеності в значній мірі визначають складність прийняття рішень щодо керування складними технологічними комплексами. До основних факторів звичайно відносять (Abdulsalam, Ali, AlYatama, & AlRoumi, 2014):

- неповноту інформації про характеристики та властивості, а також про умови функціонування складних об'єктів керування;
- неточність математичних моделей об'єктів керування, похибки вимірювально-інформаційних систем, а також алгоритмів керування та методик розрахунку;
- нечіткість опису ряду процесів, які мають різномірну природу, що характерно для технологічних процесів харчових виробництв.

Одна з головних причин зазначених особливостей має методологічний характер і полягає в тому, що при розробці систем керування такими об'єктами найчастіше ігноруються вимоги системного підходу до проектування складних організаційно-технічних комплексів. Це, зокрема, проявляється у здійсненні автоматизації лише окремих етапів процесу збирання й обробки інформації або у вирішенні на ЕОМ деяких розрахункових завдань без розгляду проблеми автоматизації процесів управління в цілому. Іншими словами, не здійснюється комплексна автоматизація відповідних процесів. Практика показує, що автоматизації повинні піддаватися тільки добре вивчені і досить стабільні процеси й технології, для яких розроблено конструктивні формальні засоби опису (моделі), методи, алгоритми та методики вирішення відповідних прикладних завдань.

На сучасному етапі розвитку науки й техніки досягнуто досить високого рівня розвитку апаратно-програмних засобів збору, передачі й обробки інформації, які входять до складу будь-якої системи керування, постійно відбувається їх модифікація, покращуються техніко-економічні характеристики (Burstein, & Holsapple, 2008). Водночас усе більше фахівців починають розуміти всю важливість комплексного інтегрованого підходу до автоматизації функціонування підприємств та організацій, заснованого на фундаментальних і прикладних результатах, отриманих у сучасній математиці, інформатиці, теорії управління.

У сучасних умовах проблема проектування систем автоматизованого керування складними організаційно-технічними об'єктами характеризується переходом від парадигми адаптивного й оптимального керування до парадигми інтелектуального керування (Demir, Bektaş, & Laporte, 2012). Це викликано неперервним ускладненням промислових об'єктів керування та умов їх функціонування, появою нових класів комп'ютерної техніки, а також різким підвищенням вимог до надійності й ефективності процесів керування в умовах суттєвої апріорної та апостеріорної невизначеності.

На етапі проектування систем керування технологічним комплексом цукрового заводу при розробці математичного та алгоритмічного апарату аналізу й синтезу управління виникають значні труднощі внаслідок погано формалізованих технологічних процесів. Це призводить до необхідності використання методів штучного інтелекту. Як недостатня теоретична підготовка користувачів, так і недостатнє використання знань і досвіду експертів у предметній галузі, що розглядається, вимагають інтелектуалізації системи, що розробляється, при реальній її експлуатації. Тому розвиток методології проектування систем керування технологічним комплексом цукрового заводу, інваріантної різним об'єктам управ-

ління, що дає змогу з урахуванням особливостей цих об'єктів оперативно синтезувати та реалізовувати в реальному масштабі часу оптимальне управління режимами технологічного комплексу цукрового заводу є актуальним завданням. Застосування таких систем у промисловості скоротить енерго- та ресурсоспоживання на 10—30%, продовжить термін експлуатації технологічного обладнання та забезпечить заданий рівень якості продукції, що випускається, без зниження продуктивності технологічного процесу (Tapio, & Mirjami, 2009).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із перспективних напрямів розвитку систем керування складними технологічними об'єктами ієрархічної структури, до яких без сумніву відносяться технологічні комплекси харчових виробництв, є використання теоретично-інформаційного підходу *IPDI (Increasing Precision with Decreasing Intelligence)*, який був запропонований американським вченим Дж. Сарідісом (Saridis, 2001). Зміст цієї концепції полягає в здійсненні декомпозиції цілей і задач керування складними динамічними об'єктами залежно від необхідної точності та інтелектуального вибору і прийняття рішень щодо керування. При цьому, чим більша необхідна точність керування на відповідному ієрархічному рівні, тим нижчим є рівень його інтелектуальності, і, навпаки, чим вищий необхідний рівень інтелектуальності, тим нижчі вимоги до точності виробітку рішень.

Так, у працях (Dyniewicz, Konowrocki, & Bajer, 2017; Groumpos, 2010) виділяються такі кардинальні ознаки інтелектуального керування:

- неперервне уточнення можливості досягнення попередньо вибраних термінальних умов, які задані у визначених цілях керування;
- корекція критеріального базису для забезпечення необхідної якості керування;
- змінювання траєкторії руху системи в критеріальному просторі відповідно із змінюваннями умов функціонування, викликаними, в основному, лабільністю показників якості сировини;
- необхідність корегування виробничих планів через виникнення нештатних ситуацій, а також унаслідок проблем, спричинених поточними завданнями маркетингового характеру.

При цьому в складі алгоритмічного забезпечення інтелектуальних систем керування повинні використовуватись методи, основані на використанні знань, методів навчання, м'яких обчислень (нейронні мережі, нечітка логіка) (Edwards, & Kok, 2021).

У статтях (Luca, Barlacchi, Lepri, & Pappalardo, 2021; Breiman, 2001) визначені умови ефективної реалізації прикладних функцій інтелектуальної системи керування технологічними процесами:

- 1) потрібно обробити та провести аналіз великого масиву інформації;
- 2) інформація обмежена;
- 3) потрібно працювати за умов невизначеності;
- 4) простір багатовимірний;
- 5) потрібно розпізнати ситуації;
- 6) на розв'язання задачі впливають нестационарні фактори;
- 7) завдання формалізоване з використанням моделей подання знань;

8) потрібні самоорганізація, самонавчання, адаптація системи.

Інтелектуальна система керування має включати відповідні математичне, методологічне, інформаційне, програмне, апаратне й технічне забезпечення для адекватного рішення завдань із переліченими вище умовами.

Розроблена концепція структури інтелектуальних систем, яка лягла в основу цілого напрямку наукових досліджень та практичної розробки інтелектуальних систем (Kumaran, Hassabis, & McClelland, 2016). Оскільки інтелектуальна система розглядається як сукупність математичного, методологічного, програмного, апаратного, технічного забезпечення, яка об'єднується інформаційним процесом, то різні складові системи повинні мати можливість обробки одержуваної інформації про проблемну область так, як це відбувається у мозку людини (Shi, 2019). Рядом авторів (Lake, Salakhutdinov, & Tenenbaum, 2015); Hassabi, Kumaran, Summerfield, & Botvinick, 2017) пропонується використовувати системний і міждисциплінарний підходи у створенні методології інтелектуальних систем, застосування яких дає додаткову можливість розробки ефективних методів теорії складних процесів, що характеризуються великим обсягом оброблюваної інформації, що важко формалізуються, прийняттям рішень в умовах невизначеності, різними проблемами використання традиційних методів багатокритеріальної оптимізації.

Розглянуті вимоги до розробки та результати використання інтелектуальних систем вимагають їх удосконалення, зважаючи на специфіку технологічних процесів цукрової промисловості.

Мета дослідження: забезпечення ресурсо- та енергозбереження, мінімізація втрат якості виробленої продукції та продуктивності технологічних процесів цукрової промисловості шляхом розробки та впровадження методології побудови інтелектуальних систем керування, що дає змогу оперативно синтезувати керуючий вплив за енергетичними та якісними критеріями.

Матеріали і методи. Як правило, інтелектуальні системи використовуються при знаходженні шляху вирішення завдань, у яких більшою мірою застосовується не обчислювальна, а логічна обробка інформації, що відповідає отриманим знанням від експертів. І ці знання, зазвичай, слабоформалізовані. Характерною особливістю інтелектуальних систем є наявність знань, що адекватно описують досліджувану предметну область конкретної галузі (Chu, Strand, & Fjelland, 2003). Основні складнощі розробки інформаційних інтелектуальних систем полягають у повноцінному поданні знань та їх обробці.

Інформаційні інтелектуальні системи оперують даними та знаннями. Дані — це фактична інформація про об'єкти, процеси, явища предметної області та їхні властивості. Знання — це сукупність даних, структура їх взаємозв'язків і способи обробки даних. Знання є більш складна категорія інформації порівняно з даними, їх зазвичай називають структурованими даними (Nicolis, G., & Nicolis, C., 2009). Щоб інтелектуальна система могла оперувати знаннями, їх слід подати у заданій формі як базу знань, яка запрограмована відповідним чином і базується на відповідних моделях знань (Gacto, Alcalá, & Herrera, 2010). Найбільш популярними серед них є мережеві, продукційні, фреймові, логічні моделі. Логічні моделі характеризуються єдністю теоретичного уявлення та можливістю реалізації формальних визначень, закономірностей, висновків. Логічна модель задається таким

упорядкованим кортежем множин (Karavas, Kyriakarakos, Arvanitis, & Papadakis, 2015):

$$M = \langle T, P, A, B \rangle,$$

де T — множина базових елементів моделі, що мають різну природу; P — сукупність синтаксичних правил, за допомогою яких з елементів T можуть бути утворені синтаксично правильні підмножини; A — фіксована підмножина у множині синтаксично правильних підмножин, елементи яких називають аксіомами; B — множина правил виведення.

Для мережевих моделей застосовують конструкцію так званої семантичної мережі. Ці моделі задають таким кортежем:

$$H = \langle I, C_1, C_2, \dots, C_n, G \rangle,$$

де I — множина одиниць інформації; $C_1, C_2, \dots, C_n$ — множина різних типів зв'язків між елементами із I ; G — відображення, яке характеризує вигляд залежностей між одиницями інформації множини I .

Семантична мережа може включати пов'язані між собою об'єкти, їх властивості, операції над ними, події тощо (Karavas, Kyriakarakos, Arvanitis, & Papadakis, 2015). Пошук шляхів вирішення в базі знань семантичної мережі полягає у знаходженні фрагмента мережі, що відповідає поставленій меті. Недоліком мережевої моделі є складність пошуку шляхів вирішення на базі знань.

Продукційні моделі включають ряд елементів як логічних, так і мережевих моделей. У методиці створення логічних моделей було взято метод побудови правил виведення, які називаються продукціями в цій моделі. У продукційних моделях здійснюється висновок, що ґрунтується на знаннях.

Продукцію описують таким чином:

$$(i); Q; P; A \Rightarrow B; N,$$

де (i) — ім'я продукції, що виділяє її з множини продукцій; Q — область використання продукції; P — умова, за якої продукція можлива; $A \Rightarrow B$ — ядро (основний елемент) продукції; N — дія, яку необхідно виконати після виконання продукції.

Фрейм може бути заданий такою структурою (Karavas, Kyriakarakos, Arvanitis, & Papadakis, 2015):

<f name name>:

[<p art 1>] (<slot name 1> : <slot value 1>);

[<p art 2>] (<slot name 2> : <slot value 2>);

[<p art N>] (<slot name N> : <slot value N>).

Структурними одиницями фрейма є слоти, які представляють у вигляді:

<slot name>: $\{(A_i, v^i)\}, \{r^i\}$,

де A_i — ім'я ознаки; v^i — її значення; r^i — зв'язок слоту з іншими.

Як значення слоту можуть виступати числа, символи, математичні формули, звичайні тексти й тексти програм, продукційні правила, посилання на інші слоти, що належать як конкретному фрейму, так і іншим фреймам, набір слотів нижчого рівня (ієрархічна реалізація) тощо

У галузі створення баз знань інформаційних інтелектуальних систем зараз вже є серйозний прогрес, достатня кількість теоретичних розробок, широкий спектр

методів і технологій, що підтримуються відповідними програмними комплексами. У той же час подальший розвиток теорії інтелектуальних систем керування, створення нових методів і технологій роботи зі знаннями залишаються, як і раніше, актуальними проблемами.

Викладення основних результатів дослідження. Основними показниками ефективності функціонування систем керування складними технологічними комплексами цукрової промисловості є ресурсо- та енергозбереження, якість одержуваного продукту та продуктивність технологічного процесу. Одним із підходів підвищення ефективності функціонування систем керування складними технологічними комплексами є розробка та впровадження в рамках модернізації автоматизованих виробничих процесів інтелектуальної інформаційно-керуючої системи, що дає змогу оперативно виробляти керуючі впливи, що мінімізують енерго- або ресурсоспоживання в динамічних режимах та мінімізуючи втрати якості та продуктивності технологічних процесів. Інтелектуалізація розробленої системи полягає в алгоритмізації синтезу керуючих впливів у різних режимах роботи.

Багатокритеріальне оптимальне керування в умовах невизначеності реалізоване для дифузійного, сокоочисного та випарного відділення.

На прикладі бурякопереробного відділення якість роботи дифузійної станції визначається якісними показниками дифузійного соку та втратами цукру в процесі екстракції.

Розглядаємо модель, яка відповідає області зміни параметра нечіткого поняття «якість дифузійного соку» «висока». При цьому, витрата бурякової стружки «норма», витрата дифузійного соку «висока», дигестія «висока», температурний режим «норма». Отримали поліном такого вигляду:

$$R(F_{cm}, F_{\delta c}, B, T) = 1,046703F_{cm} + 2,137018F_{\delta c} - 0,195289B - 7,301263T - 0,020915F_{cm}F_{\delta c} + 0,007624F_{cm}B + 0,206117F_{\delta c}T + 0,004411F_{cm}B + 0,2534F_{\delta c}T - 0,00074B^2 - 0,05881T^2 - 0,00348BT + 62,26, \quad (1)$$

де R — доброякісність, %; F_{cm} — витрата бурякової стружки, м³/год; $F_{\delta c}$ — витрата дифузійного соку, м³/год; B — дигестія, %; T — температура, °C.

Втрати цукру складаються з втрат цукру з жомом і неврахованих втрат. Втрати цукру залежать від розміру стружки, витрати дифузійного соку, температури та часу екстрагування. Модель відповідає області зміни параметра нечіткого поняття «втрати цукру з жомом» «низькі». При цьому витрата бурякової стружки «норма», витрата дифузійного соку «висока», дигестія «норма», температурний режим «норма». Отримали поліном такого вигляду:

$$D(F_{cm}, F_{\delta c}, B, T) = 0,869409F_{cm} + 0,145229F_{\delta c} - 0,228583B + 4,554316T + 0,00507F_{cm}F_{\delta c} + 0,122528F_{cm}T - 0,180694F_{cm}B + 0,003302F_{\delta c}B - 0,00097F_{\delta c}^2 + 0,14949F_{\delta c}T - 0,095811T^2 - 0,4821BT + 6,695, \quad (2)$$

де D — втрати цукру з жомом, %; F_{cm} — витрата бурякової стружки, м³/год; B — дигестія, %; $F_{\delta c}$ — витрата дифузійного соку, м³/год; T — температура, °C.

Продуктивність дифузійного відділення визначається витратою бурякової стружки, яка перероблюється за годину і характеризується часом знаходження

бурякової стружки в дифузійному апараті. Представлена модель відповідає області зміни параметра нечіткого поняття «продуктивність дифузійного апарата» «висока». При цьому витрата бурякової стружки «висока», дигестія «норма», температурний режим «норма». Отримали поліном такого вигляду:

$$L(F_{cm}, B, T) = 3,989F_{cm} + 0,7624B + 0,458T - 3,46F_{cm}^2 + 0,292355F_{cm}B + 0,096F_{cm}T - 0,0779B - 0,0091T - 0,0054B^2 - 0,0574T^2 - 40,1, \quad (3)$$

де L — продуктивність, %; F_{cm} — витрата бурякової стружки, м³/год; B — дигестія, %; T — температура, °C.

У результаті обробки експериментальних даних розроблені сценарії керування технологічним процесом одержання дифузійного соку, при яких досягається вихід продукції вищої якості, більша продуктивність станції та найменші втрати цукру.

Постановка задачі оптимального керування дифузійним апаратом у загальному вигляді трактується як багатокритеріальна задача:

$$F = \max F, A_{I(MIN)}^J \leq A_I^J \leq A_{I(MAX)}^J, \quad Q_i^j \in R^n \quad (4)$$

де R^n — простір параметрів стану; $A_{I(MIN)}^J \leq A_I^J \leq A_{I(MAX)}^J$ — область допустимих змін параметрів у нечітких значеннях, причому $\leq A_{I(MIN)}^J$ = «нижче норми», $\leq A_{I(MAX)}^J$ = «вище норми». При вирішенні задач оптимального керування були

виділені такі множини критеріїв: K_i^S — якість, P_i^S — продуктивність; W_i^S — втрати. Задача багатокритеріальної оптимізації розглянута для моделей, одержаних у результаті оперативної ідентифікації методом поточних найменших квадратів.

Позначимо:

$$R(F_{cm}, F_{dc}, B, T) = K(x_1, x_2, x_3, x_4); \quad (5)$$

$$L(F_{cm}, B, T) = P(x_1, x_2, x_3); \quad (6)$$

$$D(F_{cm}, F_{dc}, B, T) = W(x_1, x_2, x_3, x_4). \quad (7)$$

Оптимальний результат досягається, згідно з методом досяжних цілей (Березький, Теслюк, Дубчак, Мельник, & Батько, 2022), при умові знаходження мінімального значення γ , для якого вірна така система нерівностей:

$$\begin{cases} K(x_1, x_2, x_3, x_4) - K_k \gamma \leq K_0; \\ P(x_1, x_2, x_3) - K_p \gamma \leq P_0; \\ W(x_1, x_2, x_3, x_4) - K_w \gamma \geq W_0. \end{cases} \quad (8)$$

при нечітких обмеженнях: «нижче норми» < x_1 < «вище норми»; «нижче норми» < x_2 < «вище норми»; «нижче норми» < x_3 < «вище норми»; «нижче норми» < x_4 <

«вище норми», де P_0, K_0, W_0 — сподівання при пошуку оптимального значення; K_k, K_p, K_w — вагові коефіцієнти, які визначають, наскільки близько повинно бути рішення до оптимального результату. Оптимальні значення x_1, x_2, x_3, x_4 знайдені при:

$$\gamma = \min \max \frac{F_i(x_n) - F_{i0}}{K_i}, \quad (9)$$

де $F_i(x_n)$ — значення цільової функції в поточний момент часу; F_{i0} — очікуване значення цільової функції; K_i — ваговий коефіцієнт.

Оптимальні значення режимних параметрів знайдені в області Парето в результаті реалізації методу досяжних цілей ($R = 85,3\%$; $L = 58,3 \text{ м}^3/\text{год}$; $D = 0,27\%$ та режимних параметрах $F = 62 \text{ м}^3/\text{год}$; $B = 19,8\%$; $T = 72,1^\circ \text{C}$).

Застосування нечіткої логіки в управлінні дає змогу відмовитись від створення досить точної математичної моделі динамічної системи. У зв'язку з цим розглянемо застосування розробленого нечіткого регулятора рН другої сатурації порівняно з пропорційно-інтегрально-диференціальним ПІД-регулятором (рис. 1). Як вхідні вимірювані координати вибрані помилка регулювання і похідна помилки керування, як вихідна координата — вихід регулятора. Модель об'єкта управління є поліномом другого порядку:

$$W_0(s) = 1/[0,63s^2 + 7,32s + 3,58]. \quad (10)$$

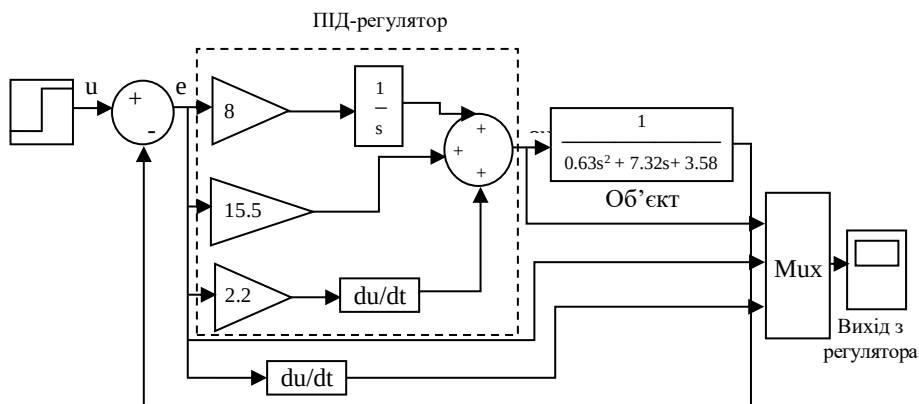


Рис. 1. Система керування з негативним зворотним зв'язком і ПІД-регулятором

Математична модель системи з ПІД-регулятором досліджена з точки зору перехідних процесів щодо «помилки», «похідної помилки» і «виходу» при стрибку сигналу завдання і при незмінних параметрах об'єкта управління. Перехідні процеси досліджуваних величин наведено на рис. 2.

Основним недоліком наведеної системи стабілізації є порівняно невисока динамічна точність при дії недетермінованих збурень і змін параметрів об'єкта управління.

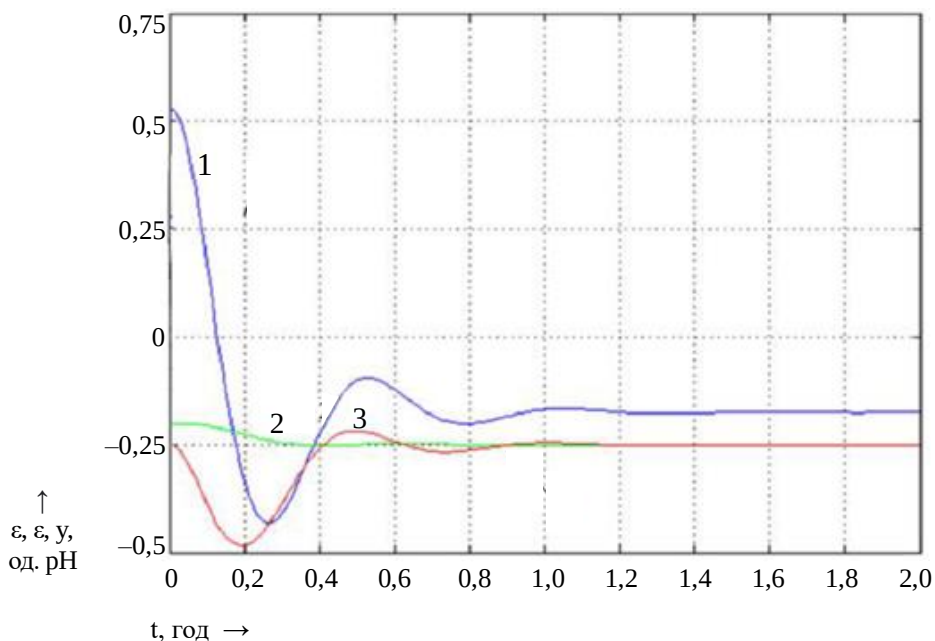


Рис. 2. Графіки перехідних процесів ПІД-регулятора:
1 — вихід регулятора; 2 — помилка; 3 — похідна помилки

Для підвищення динамічної точності доцільно використовувати систему управління, яка являє собою три нечіткі регулятори, встановлені, відповідно, у пропорційному, інтегральному та диференціальних каналах ПІД-регулятора (рис. 3).

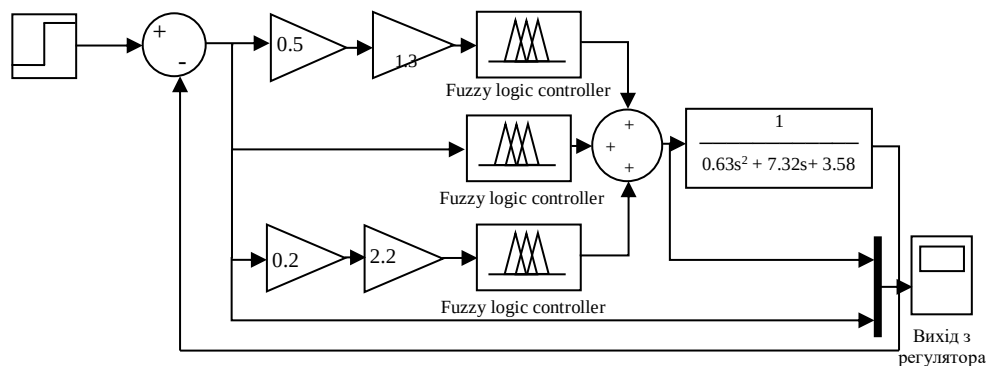


Рис. 3. Структурна схема нечіткої системи керування

Введемо лінгвістичну змінну «помилка» (ε). Для всіх внутрішніх термів вхідних змінних призначимо трикутні функції належності. Для бази знань нечіткого контролера базову терм-множину вхідних лінгвістичних змінних обмежимо на

рівні п'яти. Терм-множина T лінгвістичних змінних має назву термів: $T = \{S, PS, PM, PB, PVB\}$, що означає відповідно: «мале», «позитивне мале», «позитивне середнє», «позитивне велике», «позитивне дуже велике». Кількісні характеристики функцій належності визначаємо залежно від діапазону зміни параметра, для якого будуються функції належності його термів. Для входу регулятора діапазон зміни прийнято $[-0,05, 1]$. Вид термів для лінгвістичної змінної «помилка» представлений на рис. 4.

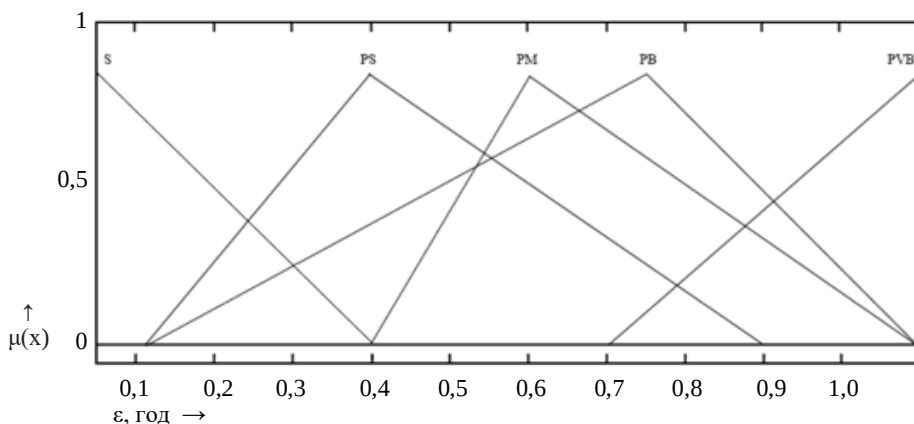


Рис. 4. Функції належності лінгвістичної змінної «помилка»

Терм-множину вихідних лінгвістичних змінних обмежимо лише на рівні трьох. Терм-множина має вигляд: $T1 = \{NS, PS, PB\}$, що означає, відповідно, «негативне мале», «позитивне мале», «позитивне велике». Для виходу регулятора діапазон зміни параметрів керуючого впливу прийнятий $[-2; 6; 14,5]$. База знання нечіткого регулятора матиме такий вигляд: якщо сигнал помилки позитивний і зростає, то керуючий сигнал буде позитивний малий. Якщо позитивний сигнал помилки буде дуже великий, то керуючий сигнал на виході також буде зростати, стаючи позитивним великим. Якщо сигнал помилки буде падати, то вихідний сигнал також падатиме.

Отримаємо множину керуючих правил, що зв'язують лінгвістичні значення вхідних і вихідної змінної вигляду:

- 1) якщо «помилка» $\in PB$, тоді «управління» $\in PS = 6$;
- 2) якщо «помилка» $\in PVB$, тоді «управління» $\in PB = 14,5$;
- 3) Якщо «помилка» $\in PM$, тоді «управління» $\in NS = -2$;
- 4) Якщо «помилка» $\in PS$, тоді «управління» $\in NS = -2$.

Результати моделювання, наведені на рис. 5, наочно показують правомірність застосування НЛР. Отримана система має кращі показники якості, ніж система з ПІД-регулятором. Тривалість перехідного процесу зменшилася в 6 разів, значно покращилась якість регулювання. Використання методів нечіткого управління дало змогу отримати якісний перехідний процес без використання громіздких обчислювальних процедур, характерних для класичного методу управління.

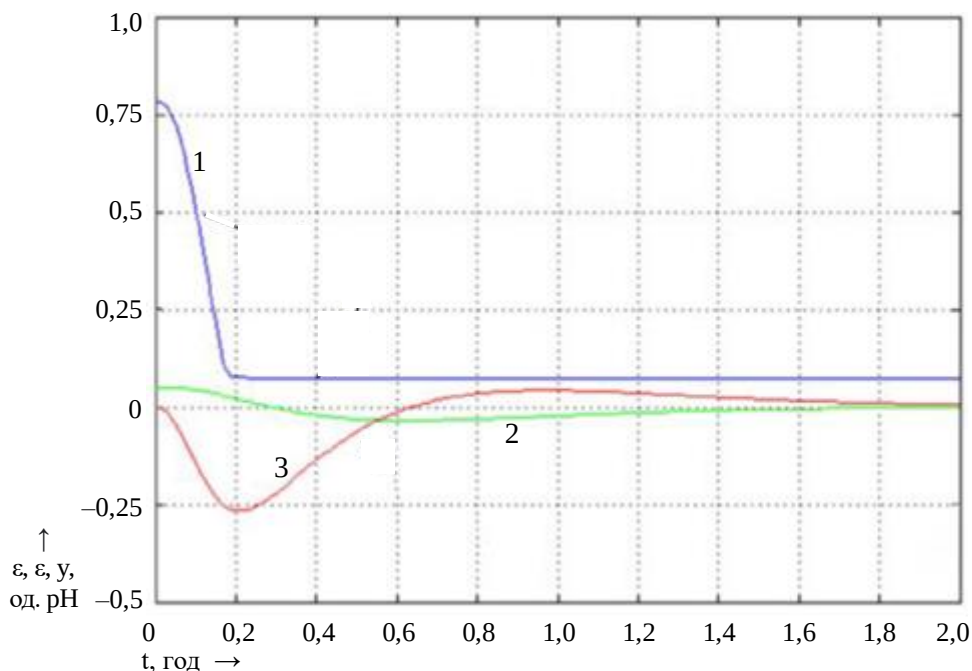


Рис. 5. Графіки перехідних процесів у системі з нечітким регулятором:

1 — вихід регулятора; 2 — помилка; 3 — похідна помилки

Висновки

На основі системного аналізу технологічного комплексу цукрового заводу, а також принципів і методів сценарного керування реалізовані заходи щодо підвищення інтелектуалізації прикладних функцій керування технологічним комплексом цукрового заводу як складної організаційно-технічної системи. Здійснена постановка та проведена багатокритеріальна оптимізація об'єкта керування в ситуаційно-значущих зонах, визначених за нечіткими значеннями режимних параметрів технологічних процесів виробництва цукру як лінгвістичних змінних. За компромісною згорткою критеріїв в області Парето в кожній ситуаційно-значущій зоні визначені оптимальні значення режимних параметрів технологічного комплексу цукрового заводу, коли забезпечуються висока продуктивність обладнання, досягається найкраща якість продукції, мінімізуються втрати ресурсів. Розроблені інтелектуальні регулятори продуктивності дифузійної установки, рН соку на дефекаторах і сатураторах, теплового режиму роботи випарної станції забезпечують досягнення високої якості перехідних процесів регулювання в широких межах змінювання реальних збурень. Отримані інтелектуальні засоби реалізовані у вигляді програмного забезпечення систем керування, які включені в інформаційну вертикаль цукрового заводу. Реалізація розробок інтелектуальної компоненти систем керування технологічним комплексом цукрового заводу, як показала дослідна експлуатація, дала додатково підвищити продуктивність виробництва на 2,3%, скоротити втрати цукру на 0,08%.

Література

- Березький, О. М., Теслюк, В. М., Дубчак, Л. О., Мельник, Г. М., Батько, Ю. М. (2022). *Дослідження і проектування комп'ютерних систем та мереж*. Тернопіль: ЗУНУ.
- Ладанюк, А. П., Решетюк, В. М., Кишенько, В. Д., Смітюх, Я. В. (2014). *Інноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу*. К.: Центр учбової літератури.
- Мірошник, В. О., Гачковська, М. А., Кишенько, В. Д., Грабовська, О. В. (2019). *Оптимізація процесів переробки сільськогосподарської сировини*. К.: ЦП Компрінт.
- Abdulsalam, H. M., Ali, B. A., Al Yatama, A. & Al Roumi, E. S. (2014). Deploying a LEACH Data Aggregation Technique for Air Quality Monitoring in Wireless Sensor Network. *Procedia Computer Science*, 34, 499—504. doi:10.1016/j.procs.2014.07.055.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5—32. doi.org/10.1023/A:1010933404324.
- Burstein, F., & Holsapple, C. W. (2008). *Handbook on Decision Support Systems*. Berlin: Springer-Verlag, 827. DOI: 10.1007/978-3-540-48713-5.
- Chu, D., Strand, R., Fjelland, R. (2003). Theories of Complexity: Common Denominators of Complex Systems. *Complexity*, 8(3), 19—30.
- Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2012). An adaptive large neighborhood search heuristic for the Pollution-Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 223, 346—359. DOI:10.1016/j.ejor.2012.06.044.
- Dyniewicz, B., Konowrocki, R., Bajer, C. (2017). Intelligent adaptive control of the vehicle-span/track system. *Procedia Engineering*, 199, 1683—1688. DOI:10.1016/J.YMSP.2014.12.007.
- Edwards, G., Kok, K. (2021). Building a Fuzzy Cognitive Map from stakeholder knowledge: An Episodic, asynchronous approach. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3. DOI:10.1016/j.crsust.2021.100053.
- Gacto, M. J., Alcalá, R., Herrera, F. (2010). Integration of an index to preserve the semantic interpretability in the multiobjective evolutionary rule selection and tuning of linguistic fuzzy systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 3, 515—531. doi:10.1109/TFUZZ.2010.204100.
- Groumpos, P. P. (2010) Fuzzy Cognitive Maps: Basic theories and their application to complex systems. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 247, 1—22. DOI:10.1007/978-3-642-03220-2_1.
- Hassabi, D., Kumaran, D., Summerfield, C. and Botvinick, M. (2017). Neuroscience-Inspired Artificial Intelligence. *Neuron*, 95, 245—258. doi:10.1016/j.neuron.2017.06.011.
- Karavas, C. S., Kyriakarakos, G., Arvanitis, K. G., Papadakis, G. (2015). A multi-agent decentralized energy management system based on distributed intelligence for the design and control of autonomous polygeneration microgrids. *Energy Convers. Manag.*, 103, 166—179. DOI: 10.1016/j.enconman.2015.06.021.
- Kumaran, D., Hassabis, D. and Mc Clelland, J. L. (2016). What Learning Systems Do Intelligent Agents Need? Complementary Learning Systems Theory Updated. *Trends in Cognitive Sciences*, 20, 512—534. doi:10.1016/j.tics.2016.05.004.
- Lake, B. M., Salakhutdinov, R., Tenenbaum, J. B. (2015). Human-Level Concept Learning through Probabilistic Program Induction. *Science*, 350, 1332—1338. doi:10.1126/science.aab3050.
- Luca, M., Barlacchi, G., Lepri, B. And Pappalardo, L. (2021). A Survey on Deep Learning for Human Mobility. *ACM Computing Surveys*, 55, 1—44 . DOI:10.1145/3485125.
- Nicolis, G., & Nicolis, C. (2009). Foundations of complex systems. *European Review*, 17, 237—248. doi: 10.1017/S1062798709000738.
- Saridis, G. (2001). Entropy in Control Engineering. Series in Intelligent Control and Intelligent Automation 12. *World Scientific*, 1—148. ISBN 978-981-02-4551-1.
- Shi, Z. (2019). Cognitive Machine Learning. *International Journal of Intelligence Science*, 9, 111—121. doi:10.4236/ijis.2019.94007.
- Tapio, F., Mirjami, J. (2009). Embedded fuzzy expert system for Adaptive Weighted Fair Queueing. *Expert Systems with Applications: An International Journal*, 36(8), 11390—11397. DOI:10.1016/j.eswa.2009.03.038.

A MULTIDIMENSIONAL MATHEMATICAL MODEL OF THE PRESENTATION OF INFORMATION REGARDING THE ENVIRONMENTAL STATE OF THE NATURAL AND TECHNOLOGICAL GEEOSYSTEM FOR THE AUTOMATED SYSTEM OF MANAGEMENT OF A FOOD ENTERPRISE IN THE CONDITIONS OF RUSSIAN AGGRESSION

V. Derman

National University of Food Technologies

S. Petrukhin

Military Institute of Tank Troops of the National Technical University of Ukraine "KhPI"

Key words:

*Information representation
Mathematical model
Natural-technogenic geosystem
Automated control system
food enterprise*

Article history:

Received 14.07.2023
Received in revised form 31.07.2023
Accepted 15.08.2023

Corresponding author:

V. Derman
E-mail:
vderman@ukr.net

Citation: В. А. Дерман, С. Ю. Петрухін (2023). Багатовимірний математичний модель представлення інформації щодо екологічного стану природно-техногенної геосистеми для автоматизованої системи управління харчовим підприємством в умовах російської агресії. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 33—49.
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-5

ABSTRACT

In the conditions when a war is being waged on the territory of Ukraine with the Russian aggressor, the development of an automated system for the environmental condition of a food enterprise, taking into account the military-technogenic component, which is due to the scale of hostilities on almost the entire territory of the country, becomes an urgent task. In this case, attention should separately be paid to the need for a new representation of the hierarchical components of the geosystem as a natural-technogenic geosystem. In this article, approaches to creating a multidimensional representation of information about the ecological state of the natural-technological geosystem, which includes a number of parameters characteristic of it were analyzed.

The development of a mathematical model of multidimensional representation of information was carried out on the basis of the technologies of operational analytical data processing and the language of the algebra of finite predicates. The use of this mathematical apparatus for the automation of monitoring and management of the state of the natural and human-made geosystem of a food enterprise provides an opportunity to effectively support management decision-making. It allows to ensure promptness and objectivity in the conditions of limited response times during the damage to populated areas, potentially dangerous objects, objects of critical infrastructure and operational areas of hostilities.

The hierarchical structures of presenting information about the components of the natural-technogenic geosystem of the food enterprise, the components of the military-technogenic load from the use of various weapon systems and military equipment, emergency situations of a socio-political and military nature were substantiated.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-5

БАГАТОВИМІРНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЇ ГЕОСИСТЕМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ХАРЧОВИМ ПІДПРИЄМСТВОМ В УМОВАХ РОСІЙСЬКОЇ АГРЕСІЇ

В. А. Дерман

Національний університет харчових технологій

С. Ю. Петрухін

Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету України «ХПІ»

В умовах, коли на території України ведеться війна з російським агресором, актуальним завданням стає розробка автоматизованої системи управління станом навколишнього середовища харчового підприємства з урахуванням воєнно-техногенної компоненти, що обумовлено масштабом бойових дій практично на всій території нашої держави. З огляду на це слід окремо зупинитися на необхідності нового представлення ієрархічних складових геосистеми як природно-техногенної геосистеми.

У статті проаналізовано підходи до побудови багатовимірного представлення інформації про екологічний стан природно-техногенної геосистеми, що включає цілий ряд характерних для неї параметрів.

Розробка математичної моделі багатовимірного представлення інформації здійснювалась на основі технологій оперативної аналітичної обробки даних і мови алгебри скінченних предикатів. Використання цього математичного апарату для автоматизації моніторингу й управління станом природно-техногенної геосистеми харчового підприємства надає можливість ефективної підтримки прийняття управлінських рішень, дає змогу забезпечити оперативність і об'єктивність в умовах обмежених термінів реагування під час ураження населених пунктів, потенційно небезпечних об'єктів, об'єктів критичної інфраструктури та операційних районів ведення бойових дій.

Обґрунтовано ієрархічні структури представлення інформації про складові природно-техногенної геосистеми харчового підприємства, складові воєнно-техногенного навантаження від застосування різних систем зброї і військової техніки, надзвичайні ситуації соціально-політичного і військового характеру. Наведені в статті способи формування вектора екологічного стану природно-техногенної геосистеми харчового підприємства під час реалізації багатовимірної інформаційної моделі в подальшому використовуються для автоматизації процесів управління станом природно-техногенної геосистеми харчового підприємства з формуванням математичних законів управління.

Ключові слова: *представлення інформації, математична модель, військова природно-техногенна геосистема, автоматизована система управління, харчове підприємство, вектор екологічного стану, алгебра скінченних предикатів*

Постановка проблеми. Складність і багатофакторність екологічних процесів потребують впровадження сучасних еколого-інформаційних систем, що відповідають особливостям управління екологічним станом природно-техногенних геосистем (ПТГС). Питання накопичення, збереження, оперативної обробки інформації, інтерпретації й узгодженості даних завжди залишаються актуальними під час вирішення завдань забезпечення екологічної безпеки.

На сьогодні у зв'язку з активними бойовими діями, що ведуться практично на всій території України, постійно зростає необхідність у підвищенні оперативності і якості інформаційного забезпечення посадових осіб та осіб, що приймають рішення, (ОПР) для прийняття ефективних управлінських рішень у галузі реагування на відповідно до міжнародних і загальноєвропейських вимог та рекомендацій комісії ЄЕК ООН (Варламов, 2007).

У сучасних умовах, коли в Україні ведеться неоголошена повномасштабна війна із застосуванням усіх видів озброєння і військової техніки, створення та забезпечення функціонування інфраструктури регіональних систем моніторингу навколишнього природного середовища (НПС) на основі інтеграції елементів відомчих мереж моніторингу (Варламов, 2007) та інформаційних корпоративних екологічних систем (ІКЕС) (Козуля, Петрухін, 2007), в тому числі і харчових підприємств, потребує вирішення цілого ряду науково-практичних завдань. До них слід віднести такі:

- комплексний аналіз екологічної обстановки уражених територій, потенційно небезпечних об'єктів і об'єктів критичної інфраструктури;
- виявлення факторів негативного впливу на навколишнє середовище від застосування систем зброї і військової техніки й оцінка характеристики інтенсивності їх впливу на довкілля та стан здоров'я людини;
- організація системи екологічного моніторингу за джерелами воєнно-техногенного впливу на довкілля;
- створення багатовимірних баз даних для еколого-інформаційних систем з екологічної безпеки харчових підприємств;
- оцінка та прогнозування стану природно-техногенної геосистеми (ПТГС) харчового підприємства і розвитку екологічної ситуації з метою підготовки інформації і надання її для особи, що приймає рішення (ОПР);
- інформаційна підтримка та розробка обґрунтованих рекомендацій на основі даних екологічного моніторингу для прийняття ефективних управлінських рішень із дотримання вимог екологічної безпеки, збереження НПС і раціонального природокористування на території харчового підприємства;
- розробка пропозицій щодо попередження, локалізації, ліквідації забруднення НПС та екологічної реабілітації території ПТГС;
- організація контролю працездатності систем екологічного моніторингу та взаємозв'язку між елементами його структури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, зокрема, завдання щодо вдосконалення процесів інформаційного забезпечення ОПР та автоматизації систем управління станом НПС із застосуванням новітніх досягнень у галузі моніторингу, реляційних баз даних, розподіленої обробки інформації, геоінформаційних систем та систем підтримки прийняття рішень, показав їх важливість і актуальність

(Петрухін, 2009; Романченко, Лисенко, & Турейчук, 2009; Чумаченко, Яковлев, & Парталян, 2022), особливо в умовах російської агресії.

Аналіз вітчизняних публікацій показав, що для вирішення цих проблем можна застосувати технології оперативної аналітичної обробки даних (OLAP) (Петрухін, 2009; Чумаченко, & Сорокін, 2009; Чумаченко, & Парталян, 2018), які засновані на комп'ютерних автоматизованих методах і засобах для збору, зберігання та аналізу багатовимірних даних і розраховані на роботу з ієрархічними та багатоієрархічними структурами. У разі застосування такого підходу інформація надається у вигляді багатовимірного куба, який формується за проведеними вимірами, що відповідають характеристикам як екологічного стану ВПТГС (компоненти військової природно-техногенної екосистеми і регіону в цілому, чинники негативного впливу на НПС, джерела надходження інформації, час надходження інформації), так і користувачів ІКЕС. Як виміри гіперкуба можуть бути використані тільки окремі показники ієрархічних структур зазначених характеристик.

Метою статті є розробка багатовимірної математичної моделі представлення інформації про стан ПТГС, що забезпечує підтримку процесів прийняття рішень у системі управління станом НПС харчового підприємства.

На цьому етапі дослідження розглянуто такі питання:

1) розробка ефективної моделі проектування ІКЕС як інформаційно-аналітичної системи для підтримки прийняття рішень на основі технологій OLAP та мови алгебри скінченних предикатів;

2) формування вимірів гіперкуба відповідно до оптимального ступеня агрегації даних з метою отримання своєчасної й об'єктивної інформації про екологічний стан ПТГС;

3) визначення шляхів формування раціонального вектора екологічного стану (Чумаченко, & Сорокін, 2009) ПТГС за рахунок реалізації багатовимірної інформаційної моделі.

Матеріали і методи. З метою інформаційного забезпечення підтримки прийняття ефективних управлінських рішень актуальною є розробка багатовимірних баз даних, що дають змогу отримувати своєчасну й об'єктивну інформацію про екологічний стан ПТГС харчового підприємства.

Для вирішення цієї наукової задачі можна застосувати технології OLAP. Також буде застосовано методи аналізу багатовимірних даних, що розраховані на роботу з ієрархічними та багатоієрархічними структурами.

Це дасть змогу відстежувати всі ієрархічні чинники негативного впливу на НПС, прогнозувати наслідки воєнно-техногенного впливу, а також здійснювати оцінку ефективності функціонування ІКЕС харчового підприємства.

Викладення основних результатів дослідження. *Чинники негативного впливу на навколишнє середовище.* Негативний вплив на навколишнє середовище, що, у свою чергу, призводить до виникнення небезпечних екологічних процесів, мають як природні стихійні явища, так і антропогенні (техногенні) чинники. Безперечно, в умовах сучасного світу між антропогенними та природними чинниками впливу та забруднення існує тісний взаємозв'язок, але з метою прийняття ефективного управлінського рішення є необхідність і можливість впорядкування інформації за рахунок розмежування чинників впливу. Крім того, в рамках соціо-еколого-економічної системи є необхідність ураховувати надзвичайні ситуації соціально-

політичного та військового характеру, що можуть призвести до негативного впливу на навколишнє середовище. Але з метою прийняття ефективного управлінського рішення є і необхідність, і можливість впорядкування інформації за рахунком розмежування чинників впливу. Крім того, в рамках ІКЕС харчового підприємства є необхідність ураховувати надзвичайні ситуації соціально-політичного характеру, що можуть призвести до негативного впливу на навколишнє середовище.

Ієрархічна структура інформації щодо надзвичайних ситуацій природного характеру (ДК 019:2010, 2010; Романченко, Лисенко, & Борисюк, 2011) наведена на рис. 1, де кожен елемент відповідає сфері виникнення негативного впливу та характеризується наявною інформацією про екологічний стан.

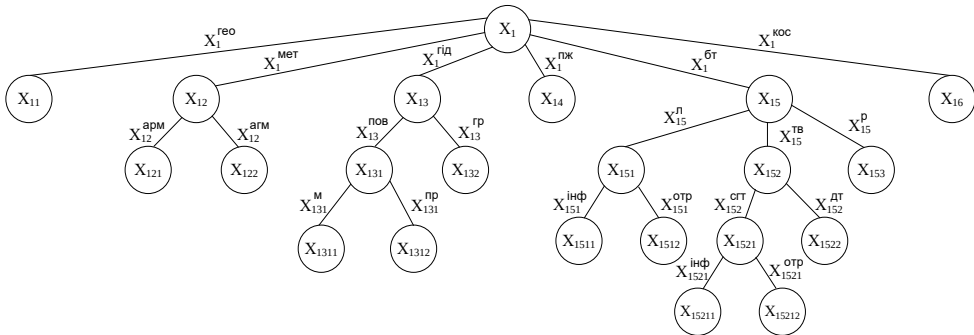


Рис. 1. Ієрархічна структура елемента x_1 — «надзвичайні ситуації природного характеру»

Мовою алгебри скінченних предикатів (Bondarenko, Dudar, & Cherkashin, 2005; Бондаренко, & Шабанов-Кушнарєнко, 2008) визначену структуру можна записати у вигляді рівняння:

$$x_1^{geo} \vee x_1^{met} \vee x_1^{hid} \vee x_1^{пж} \vee x_1^{bt} \vee x_1^{koc} = 1.$$

Надзвичайні ситуації геологічного характеру:

$$P(x_0, x_1, x_{11}) = x_0^{np6} x_1^{geo} = PP_1^{geo}.$$

Надзвичайні ситуації метеорологічного характеру, в свою чергу, розглядаються як аерометеорологічні та агрометеорологічні:

$$x_{12}^{apm} \vee x_{12}^{azm} = 1;$$

$$P(x_0, x_1, x_{12}, x_{121}) = x_0^{np6} x_1^{met} x_{12}^{apm} = PP_2^{met};$$

$$P(x_0, x_1, x_{12}, x_{122}) = x_0^{np6} x_1^{met} x_{12}^{azm} = PP_3^{met}.$$

Надзвичайні ситуації гідрологічного характеру:

$$x_{13}^{nov} \vee x_{13}^{ep} = 1,$$

поверхневі, які мають розглядатись як морські та прісноводні

$$x_{131}^m \vee x_{131}^{np} = 1;$$

$$P(x_0, x_1, x_{13}, x_{131}, x_{1311}) = x_0^{np6} x_1^{hid} x_{13}^{nov} x_{131}^m = PP_4^{hid};$$

$$P(x_0, x_1, x_{13}, x_{131}, x_{1312}) = x_0^{np6} x_1^{hid} x_{13}^{nov} x_{131}^{np} = PP_5^{hid}$$

і ґрунтові

$$P(x_0, x_1, x_{13}, x_{132}) = x_0^{np6} x_1^{ci0} x_{13}^{cp} = PP_6^{ci0}.$$

Пожежі в природних екосистемах:

$$P(x_0, x_1, x_{14}) = x_0^{np6} x_1^{nж} = PP_7^{nж}.$$

Надзвичайні ситуації медико-біологічного характеру:

$$x_{15}^l \vee x_{15}^{m6} \vee x_{15}^p = 1,$$

де вплив на людину може відбуватися шляхом інфекційного захворювання або шляхом отруєння

$$x_{151}^{inf} \vee x_{151}^{omp} = 1;$$

$$P(x_0, x_1, x_{15}, x_{151}, x_{1511}) = x_0^{np6} x_1^{6m} x_{15}^l x_{151}^{inf} = PP_8^{m6};$$

$$P(x_0, x_1, x_{15}, x_{151}, x_{1512}) = x_0^{np6} x_1^{6m} x_{15}^l x_{151}^{omp} = PP_9^{m6};$$

вплив небезпечних явищ на тварин потребує відповідного розмежування останніх на свійських і диких:

$$x_{152}^{c6m} \vee x_{152}^{dm} = 1;$$

під час розгляду впливу на свійських тварин слід брати до уваги випадки їх інфекційних захворювань і випадки масових отруєнь

$$x_{1521}^{inf} \vee x_{1521}^{omp} = 1;$$

$$P(x_0, x_1, x_{15}, x_{152}, x_{1521}, x_{15211}) = x_0^{np6} x_1^{6m} x_{15}^{m6} x_{152}^{c6m} x_{1521}^{inf} = PP_{10}^{m6};$$

$$P(x_0, x_1, x_{15}, x_{152}, x_{1521}, x_{15212}) = x_0^{np6} x_1^{6m} x_{15}^{m6} x_{152}^{c6m} x_{1521}^{omp} = PP_{11}^{m6};$$

щодо впливу на диких тварин, то слід розглядати випадки їх масової загибелі

$$P(x_0, x_1, x_{15}, x_{152}, x_{1522}) = x_0^{np6} x_1^{6m} x_{15}^{m6} x_{152}^{dm} = PP_{12}^{m6};$$

вплив на рослини доцільно розглядати, як ураження сільськогосподарських рослин хворобами та шкідниками

$$P(x_0, x_1, x_{15}, x_{153}) = x_0^{np6} x_1^{6m} x_{15}^p = PP_{13}^{m6}.$$

Надзвичайні ситуації космічного характеру:

$$P(x_0, x_1, x_{16}) = x_0^{np6} x_1^{koc} = PP_{14}^{koc}.$$

Воєнно-техногенний вплив на НПС (Чумаченко, Яковлев, & Парталіян, 2022; Романченко, Лисенко, & Борисюк, 2011; Chumachenko, 2022; Sharonova, Kozulia, 2008; Posudin, 2014) за своєю природою поділяється на хімічний, фізичний, механічний і біологічний.

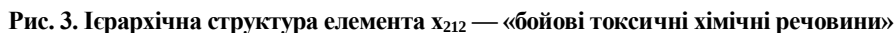
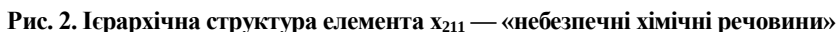
Враховуючи практичний підхід на основі багатокритеріальної оцінки впливу на НПС із застосуванням експертно-аналітичних процедур (Анищенко, Свердлов, & Писня, 2009), декомпозиція інформації щодо антропогенних чинників впливу мовою алгебри скінченних предикатів має такий вигляд:

$$x_2^{x3} \vee x_2^{fb} \vee x_2^{m3} \vee x_2^{b3} = 1.$$

Хімічний вплив:

$$x_{21}^{np} \vee x_{21}^{bp} = 1.$$

Під час аналізу чинників хімічного впливу слід брати до уваги чинники, які виникли внаслідок впливу хімічних речовин чи сполук, що утворилися в разі хімічних реакцій у різноманітних галузях промисловості або сільського господарства (рис. 2) і внаслідок застосування хімічної зброї (рис. 3) (Мальований, Беденко, & Григор'єв, 2009; Ganesan, Raza, & Vijayaraghavan, 2010).



а кожен з класів небезпеки, у свою чергу, буде розподілений на:

$$x_{2114}^{cp} \vee x_{2114}^{mp} = 1.$$

Кожен клас небезпеки для сильнодіючих отруйних речовин буде записаний як скінченний предикат:

$$P(x_0, x_2, x_{21}, x_{211}, x_{2114}, x_{21141}) = x_0^{an6} x_2^{x3} x_{21}^{hp} x_{211}^{hp_4} x_{2111}^{cp} = XZ_4^{cp}.$$

Відповідно, класи небезпеки для хімічних токсичних сполук:

$$P(x_0, x_2, x_{21}, x_{211}, x_{2113}, x_{21132}) = x_0^{an6} x_2^{x3} x_{21}^{np} x_{211}^{np3} x_{2111}^{mp} = XZ_7^{mp};$$

$$P(x_0, x_2, x_{21}, x_{211}, x_{2114}, x_{21142}) = x_0^{анв} x_2^{хз} x_{21}^{нр} x_{211}^{нр4} x_{2111}^{mp} = XZ_8^{mp}.$$

До бойових токсичних хімічних речовин належать: отруйні речовини, білкові токсини та фітотоксиканти (рис. 3):

$$x_{212}^{op} \vee x_{212}^{bm} \vee x_{212}^{fm} = 1.$$

Відповідно до тактичної та фізіологічної класифікацій отруйні речовини будуть записані:

- нервово-паралітичної дії:

$$P(x_0, x_2, x_{21}, x_{212}, x_{2121}, x_{21211}, x_{212111}) = x_0^{анв} x_2^{хз} x_{21}^{бр} x_{212}^{op} x_{2121}^{cd} x_{21211}^{нп} x_{212111}^G = XZ_9^{op};$$

$$P(x_0, x_2, x_{21}, x_{212}, x_{2121}, x_{21211}, x_{212112}) = x_0^{анв} x_2^{хз} x_{21}^{бр} x_{212}^{op} x_{2121}^{cd} x_{21211}^{нп} x_{212112}^V = XZ_{10}^{op};$$

- шкірно-нарывної дії:

$$P(x_0, x_2, x_{21}, x_{212}, x_{2121}, x_{21211}, x_{212112}, x_{2121121}, x_{21211211}) = x_0^{анв} x_2^{хз} x_{21}^{бр} x_{212}^{op} x_{2121}^{cd} x_{21211}^{шн} x_{212112}^{in} x_{2121121}^{ci} = XZ_{11}^{op};$$

$$P(x_0, x_2, x_{21}, x_{212}, x_{2121}, x_{21211}, x_{212112}, x_{2121121}) = x_0^{анв} x_2^{хз} x_{21}^{бр} x_{212}^{op} x_{2121}^{cd} x_{21211}^{шн} x_{2121121}^{in} x_{2121121}^{ai} = XZ_{12}^{op};$$

$$P(x_0, x_2, x_{21}, x_{212}, x_{2121}, x_{21211}, x_{212112}, x_{2121121}, x_{21211212}) = x_0^{анв} x_2^{хз} x_{21}^{бр} x_{212}^{op} x_{2121}^{cd} x_{21211}^{шн} x_{212112}^{in} x_{2121121}^{ai} = XZ_{12}^{op};$$

$$P(x_0, x_2, x_{21}, x_{212}, x_{2121}, x_{21211}, x_{212112}, x_{2121122}) = x_0^{анв} x_2^{хз} x_{21}^{бр} x_{212}^{op} x_{2121}^{cd} x_{21211}^{шн} x_{212112}^L = XZ_{13}^{op};$$

- загальноотруйної дії:

$$P(x_0, x_2, x_{21}, x_{212}, x_{2121}, x_{21211}, x_{212113}) = x_0^{анв} x_2^{хз} x_{21}^{бр} x_{212}^{op} x_{2121}^{cd} x_{21211}^{зо} = XZ_{14}^{op};$$

- задушливої дії:

$$P(x_0, x_2, x_{21}, x_{212}, x_{2121}, x_{21211}, x_{212114}) = x_0^{анв} x_2^{хз} x_{21}^{бр} x_{212}^{op} x_{2121}^{cd} x_{21211}^{зо} = XZ_{15}^{op};$$

- подразливої дії:

$$P(x_0, x_2, x_{21}, x_{212}, x_{2121}, x_{21212}, x_{212121}) = x_0^{анв} x_2^{хз} x_{21}^{бр} x_{212}^{op} x_{2121}^{md} x_{21212}^{nd} = XZ_{16}^{op};$$

- психохімічної дії:

$$P(x_0, x_2, x_{21}, x_{212}, x_{2121}, x_{21212}, x_{212122}) = x_0^{анв} x_2^{хз} x_{21}^{бр} x_{212}^{op} x_{2121}^{md} x_{21212}^{nx} = XZ_{17}^{op}.$$

Білкові токсини поділяються на смертельної дії та ті, що тимчасово виводять зі строю:

$$x_{2122}^{cd} \vee x_{2122}^{md} = 1;$$

відповідно, маємо:

$$P(x_0, x_2, x_{21}, x_{212}, x_{2122}, x_{21221}) = x_0^{анв} x_2^{хз} x_{21}^{бр} x_{212}^{m} x_{2122}^{cd} = XZ_{18}^m,$$

$$P(x_0, x_2, x_{21}, x_{212}, x_{2122}, x_{21222}) = x_0^{анв} x_2^{хз} x_{21}^{бр} x_{212}^{m} x_{2122}^{md} = XZ_{19}^m.$$

Фітотоксиканти:

$$P(x_0, x_2, x_{21}, x_{212}, x_{2123}) = x_0^{анв} x_2^{хз} x_{21}^{бр} x_{212}^{fm} = XZ_{20}^{fm}.$$

До фізичного впливу відносять: радіаційний, електромагнітний, акустичний, тепловий і світловий (рис. 4).

$$x_{22}^{рф} \vee x_{22}^{емф} \vee x_{22}^{акф} \vee x_{22}^{тф} \vee x_{22}^{свф} = 1.$$

а) радіаційний вплив.

Джерела ядерних іонізуючих випромінювань за походженням поділяються на природні та штучні:

$$x_{221}^{нр} \vee x_{221}^{шт} = 1.$$

Штучні джерела, у свою чергу, поділяються на джерела закритого (ізолюваного) та відкритого (не ізолюваного) типу:

$$x_{2212}^{j3} \vee x_{2212}^{нj3} = 1.$$

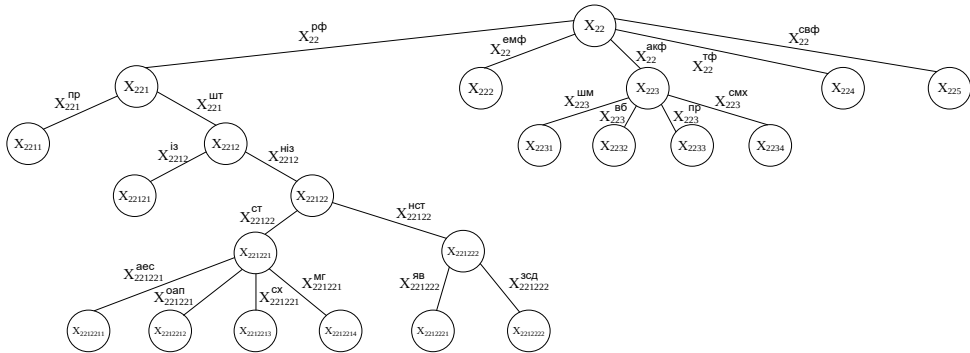


Рис. 4. Ієрархічна структура елемента x_{22} — «фізичний вплив»

Джерела відкритого типу можуть бути як стаціонарні, так і нестаціонарні:

$$x_{22122}^{cm} \vee x_{22122}^{hcm} = 1.$$

До надзвичайних ситуацій, що можуть стати причинами утворення джерел відкритого типу, необхідно віднести: застосування ядерної зброї; аварії на атомних електростанціях чи планові викиди/скиди радіоактивних речовин під час планової експлуатації; аварійні ситуації у сховищах радіоактивних речовин, витоки (аварії) із могильників радіоактивних відходів, аварії, що виникли під час транспортування радіоактивних речовин, відходів тощо. Відповідно до визначеного, маємо:

- стаціонарні:

$$x_{221221}^{aec} \vee x_{221221}^{oan} \vee x_{221221}^{cx} \vee x_{221221}^{mc} = 1;$$

- нестаціонарні:

$$x_{221222}^{яв} \vee x_{221222}^{зсд} = 1.$$

Отже, запишемо як скінченний предикат джерела природного походження:

$$P(x_0, x_2, x_{22}, x_{221}, x_{2211}) = x_0^{анв} x_2^{фз} x_{22}^{рф} x_{221}^{пр} = \Phi 3_1^{рф}.$$

Джерела штучного походження закритого типу будуть записані як:

$$P(x_0, x_2, x_{22}, x_{221}, x_{2212}, x_{22121}) = x_0^{анв} x_2^{фз} x_{22}^{рф} x_{221}^{шт} x_{2212}^{із} = \Phi 3_2^{рф}.$$

Для стаціонарних джерел відкритого типу маємо:

$$P(x_0, x_2, x_{22}, x_{221}, x_{2212}, x_{22122}, x_{221221}, x_{2212211}) = x_0^{анв} x_2^{фз} x_{22}^{рф} x_{221}^{шт} x_{2212}^{ніз} x_{22122}^{cm} x_{221221}^{aec} = \Phi 3_3^{рф};$$

$$P(x_0, x_2, x_{22}, x_{221}, x_{2212}, x_{22122}, x_{221221}, x_{2212212}) = x_0^{анв} x_2^{фз} x_{22}^{рф} x_{221}^{шт} x_{2212}^{ніз} x_{22122}^{cm} x_{221221}^{oan} = \Phi 3_4^{рф};$$

$$P(x_0, x_2, x_{22}, x_{221}, x_{2212}, x_{22122}, x_{221221}, x_{2212213}) = x_0^{анв} x_2^{фз} x_{22}^{рф} x_{221}^{шт} x_{2212}^{ніз} x_{22122}^{cm} x_{221221}^{cx} = \Phi 3_5^{рф};$$

$$P(x_0, x_2, x_{22}, x_{221}, x_{2212}, x_{22122}, x_{221221}, x_{2212214}) = x_0^{анв} x_2^{фз} x_{22}^{рф} x_{221}^{шт} x_{2212}^{ніз} x_{22122}^{cm} x_{221221}^{mc} = \Phi 3_6^{рф};$$

та для нестаціонарних джерел відкритого типу:

$$P(x_0, x_2, x_{22}, x_{221}, x_{2212}, x_{22122}, x_{221222}, x_{2212221}) = x_0^{анв} x_2^{фз} x_{22}^{рф} x_{221}^{шт} x_{2212}^{ніз} x_{22122}^{hcm} x_{221222}^{яв} = \Phi 3_7^{рф};$$

$$P(x_0, x_2, x_{22}, x_{221}, x_{2212}, x_{22122}, x_{221222}, x_{2212222}) = x_0^{анв} x_2^{фз} x_{22}^{рф} x_{221}^{шт} x_{2212}^{ніз} x_{22122}^{hcm} x_{221222}^{зсд} = \Phi 3_8^{рф}.$$

б) електромагнітний вплив, що виникає в результаті зміни електромагнітних властивостей середовища та призводить до геофізичних аномалій і змін у біологічних структурах, буде записано:

$$P(x_0, x_2, x_{22}, x_{222}) = x_0^{анв} x_2^{фз} x_{22}^{емф} = \Phi 3_9^{емф}.$$

в) акустичний вплив виникає за рахунок виникнення шумів, вібрацій, прискорень та сейсмічних хвиль:

$$x_{223}^{шм} \vee x_{223}^{бб} \vee x_{223}^{np} \vee x_{223}^{смх} = 1;$$

$$P(x_0, x_2, x_{22}, x_{223}, x_{2231}) = x_0^{анв} x_2^{фз} x_{22}^{акф} x_{223}^{шм} = \Phi Z_{10}^{акф};$$

$$P(x_0, x_2, x_{22}, x_{223}, x_{2232}) = x_0^{анв} x_2^{фз} x_{22}^{акф} x_{223}^{бб} = \Phi Z_{11}^{акф};$$

$$P(x_0, x_2, x_{22}, x_{223}, x_{2233}) = x_0^{анв} x_2^{фз} x_{22}^{акф} x_{223}^{np} = \Phi Z_{12}^{акф};$$

$$P(x_0, x_2, x_{22}, x_{223}, x_{2234}) = x_0^{анв} x_2^{фз} x_{22}^{акф} x_{223}^{смх} = \Phi Z_{13}^{акф}.$$

г) тепловий вплив є наслідком теплових викидів переважної більшості промислових підприємств, устаткування і машин, що використовують процеси горіння, нагрівання, вибуху, теплові агрегати тощо:

$$P(x_0, x_2, x_{22}, x_{224}) = x_0^{анв} x_2^{фз} x_{22}^{mf} = \Phi Z_{14}^{mf}.$$

д) світловий вплив, що є наслідком роботи джерел випромінювання оптичного діапазону, з урахуванням їх біологічних ефектів, буде записано:

$$P(x_0, x_2, x_{22}, x_{225}) = x_0^{анв} x_2^{фз} x_{22}^{свф} = \Phi Z_{15}^{свф}.$$

Механічний вплив, що є наслідком тиску колесами та гусеницями, завислих речовин у повітрі та воді, течій, вирубування лісу, відлову тварин та перешкоди їх міграції, перевертання пластів ґрунту тощо, запишемо як:

$$P(x_0, x_2, x_{23}) = x_0^{анв} x_2^{мз} = MZ_1^{мз}.$$

Біологічний вплив: як біологічні забруднювачі слід розглядати патогени, небезпечні для людини, тварин і рослин (Leitenberg, 2001) (рис. 5).

$$x_{24}^{лм} \vee x_{24}^{мб} \vee x_{24}^p = 1.$$

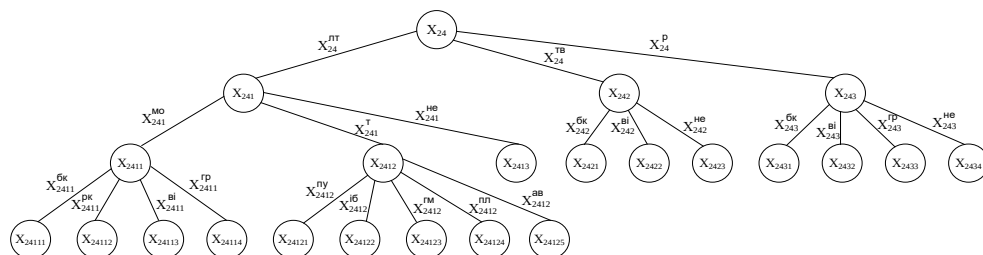


Рис. 5. Ієрархічна структура елемента x_{24} — «біологічне вплив»

До патогенів, що є небезпечними для людей і тварин, належать мікроорганізми й токсини, крім того, слід брати до уваги можливість виникнення інфекційних захворювань невиявленої етіології, чи викликаних генетично зміненими мікроорганізмами:

$$x_{241}^{мо} \vee x_{241}^m \vee x_{241}^{не} = 1.$$

У свою чергу, до мікроорганізмів, що здатні викликати інфекційні захворювання, належать: бактерії, рикетсії, віруси та грибки:

$$x_{2411}^{бк} \vee x_{2411}^{рк} \vee x_{2411}^{ві} \vee x_{2411}^{гп} = 1;$$

$$P(x_0, x_2, x_{24}, x_{241}, x_{2411}, x_{24111}) = x_0^{анв} x_2^{бз} x_{24}^{лм} x_{241}^{мо} x_{2411}^{бк} = BZ_1^{мо};$$

$$\begin{aligned}
 P(x_0, x_2, x_{24}, x_{241}, x_{2411}, x_{24112}) &= x_0^{анв} x_2^{\bar{б}3} x_{24}^{лм} x_{241}^{мо} x_{2411}^{рк} = B\bar{3}_2^{мо}; \\
 P(x_0, x_2, x_{24}, x_{241}, x_{2411}, x_{24113}) &= x_0^{анв} x_2^{\bar{б}3} x_{24}^{лм} x_{241}^{мо} x_{2411}^{ei} = B\bar{3}_3^{мо}; \\
 P(x_0, x_2, x_{24}, x_{241}, x_{2411}, x_{24114}) &= x_0^{анв} x_2^{\bar{б}3} x_{24}^{лм} x_{241}^{мо} x_{2411}^{cp} = B\bar{3}_4^{мо}.
 \end{aligned}$$

За механізмом дії токсини поділяють на 5 типів (Козуля, & Петрухін, 2007), відповідно запишемо:

$$\begin{aligned}
 x_{2412}^{ny} \vee x_{2412}^{i\bar{б}} \vee x_{2412}^{cm} \vee x_{2412}^{nl} \vee x_{2412}^{ав} &= 1; \\
 P(x_0, x_2, x_{24}, x_{241}, x_{2412}, x_{24121}) &= x_0^{анв} x_2^{\bar{б}3} x_{24}^{лм} x_{241}^{м} x_{2412}^{ny} = B\bar{3}_5^m; \\
 P(x_0, x_2, x_{24}, x_{241}, x_{2412}, x_{24122}) &= x_0^{анв} x_2^{\bar{б}3} x_{24}^{лм} x_{241}^{м} x_{2412}^{i\bar{б}} = B\bar{3}_6^m; \\
 P(x_0, x_2, x_{24}, x_{241}, x_{2412}, x_{24123}) &= x_0^{анв} x_2^{\bar{б}3} x_{24}^{лм} x_{241}^{м} x_{2412}^{cm} = B\bar{3}_7^m; \\
 P(x_0, x_2, x_{24}, x_{241}, x_{2412}, x_{24124}) &= x_0^{анв} x_2^{\bar{б}3} x_{24}^{лм} x_{241}^{м} x_{2412}^{nl} = B\bar{3}_8^m; \\
 P(x_0, x_2, x_{24}, x_{241}, x_{2412}, x_{24125}) &= x_0^{анв} x_2^{\bar{б}3} x_{24}^{лм} x_{241}^{м} x_{2412}^{ав} = B\bar{3}_9^m.
 \end{aligned}$$

Інфекційні захворювання невиявленої етіології:

$$P(x_0, x_2, x_{24}, x_{241}, x_{2413}) = x_0^{анв} x_2^{\bar{б}3} x_{24}^{лм} x_{241}^{не} = B\bar{3}_{10}^{не}.$$

До патогенів, що є небезпечними для тварин, належать віруси та бактерії, також існує можливість виникнення інфекційних захворювань невиявленої етіології у сільськогосподарських тварин чи викликаних генетично зміненими мікроорганізмами:

$$\begin{aligned}
 x_{242}^{\bar{б}к} \vee x_{242}^{ei} \vee x_{242}^{не} &= 1; \\
 P(x_0, x_2, x_{24}, x_{242}, x_{2421}) &= x_0^{анв} x_2^{\bar{б}3} x_{24}^{тв} x_{242}^{\bar{б}к} = B\bar{3}_{11}^{мо}; \\
 P(x_0, x_2, x_{24}, x_{242}, x_{2422}) &= x_0^{анв} x_2^{\bar{б}3} x_{24}^{тв} x_{242}^{ei} = B\bar{3}_{12}^{мо}; \\
 P(x_0, x_2, x_{24}, x_{242}, x_{2423}) &= x_0^{анв} x_2^{\bar{б}3} x_{24}^{тв} x_{242}^{не} = B\bar{3}_{13}^{мо}.
 \end{aligned}$$

До патогенів, що є небезпечними для рослин належать віруси, бактерії та грибки, а також існує можливість виникнення хвороб невиявленої етіології у сільськогосподарських рослин:

$$\begin{aligned}
 x_{243}^{\bar{б}к} \vee x_{243}^{ei} \vee x_{243}^{cp} \vee x_{243}^{не} &= 1; \\
 P(x_0, x_2, x_{24}, x_{243}, x_{2431}) &= x_0^{анв} x_2^{\bar{б}3} x_{24}^p x_{243}^{\bar{б}к} = B\bar{3}_{14}^{мо}; \\
 P(x_0, x_2, x_{24}, x_{243}, x_{2432}) &= x_0^{анв} x_2^{\bar{б}3} x_{24}^p x_{243}^{ei} = B\bar{3}_{15}^{мо}; \\
 P(x_0, x_2, x_{24}, x_{243}, x_{2433}) &= x_0^{анв} x_2^{\bar{б}3} x_{24}^p x_{243}^{cp} = B\bar{3}_{16}^{мо}; \\
 P(x_0, x_2, x_{24}, x_{243}, x_{2434}) &= x_0^{анв} x_2^{\bar{б}3} x_{24}^p x_{243}^{не} = B\bar{3}_{17}^{мо}.
 \end{aligned}$$

Надзвичайні ситуації соціально-політичного і військового характеру (рис. 6), наслідки дій яких можуть спричинити негативний вплив на НПС в цілому, і, безпосередньо, на стан ПТГС харчового підприємства, розглядаються відповідно до положень, що зазначені в (ДК 019:2010, 2010), і будуть записані:

$$\begin{aligned}
 x_3^{збн} \vee x_3^{kod} \vee x_3^{zen} \vee x_3^{en} \vee x_3^{ze} \vee x_3^{збн} \vee x_3^{аво} &= 1; \\
 P(x_0, x_3, x_{31}, x_{311}) &= x_0^{спх} x_3^{збн} x_{31}^{оде} = C\bar{П}_1^{збн}; \\
 P(x_0, x_3, x_{31}, x_{312}) &= x_0^{спх} x_3^{збн} x_{31}^{dky} = C\bar{П}_2^{збн};
 \end{aligned}$$

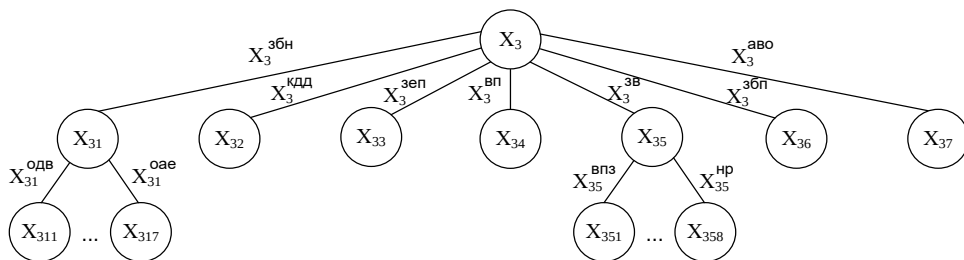


Рис. 6. Ієрархічна структура елемента x_3 — «надзвичайні ситуації соціально-політичного і військового характеру»

$$\begin{aligned}
 P(x_0, x_3, x_{31}, x_{313}) &= x_0^{cpx} x_3^{збн} x_{31}^{лоо} = СП_3^{збн}; \\
 P(x_0, x_3, x_{31}, x_{314}) &= x_0^{cpx} x_3^{збн} x_{31}^{трц} = СП_4^{збн}; \\
 P(x_0, x_3, x_{31}, x_{315}) &= x_0^{cpx} x_3^{збн} x_{31}^{62} = СП_5^{збн}; \\
 P(x_0, x_3, x_{31}, x_{316}) &= x_0^{cpx} x_3^{збн} x_{31}^{д3} = СП_6^{збн}; \\
 P(x_0, x_3, x_{31}, x_{317}) &= x_0^{cpx} x_3^{збн} x_{31}^{оае} = СП_7^{збн}; \\
 P(x_0, x_3, x_{32}) &= x_0^{cpx} x_3^{код} = СП_8^{код}; \\
 P(x_0, x_3, x_{33}) &= x_0^{cpx} x_3^{зеп} = СП_9^{зеп}; \\
 P(x_0, x_3, x_{34}) &= x_0^{cpx} x_3^{6n} = СП_{10}^{6n}; \\
 P(x_0, x_3, x_{35}, x_{351}) &= x_0^{cpx} x_3^{зб} x_{35}^{6пз} = СП_{11}^{зб}; \\
 P(x_0, x_3, x_{35}, x_{352}) &= x_0^{cpx} x_3^{зб} x_{35}^{6п} = СП_{12}^{зб}; \\
 P(x_0, x_3, x_{35}, x_{353}) &= x_0^{cpx} x_3^{зб} x_{35}^{6п} = СП_{13}^{зб}; \\
 P(x_0, x_3, x_{35}, x_{354}) &= x_0^{cpx} x_3^{зб} x_{35}^{аро} = СП_{14}^{зб}; \\
 P(x_0, x_3, x_{35}, x_{355}) &= x_0^{cpx} x_3^{зб} x_{35}^{6м} = СП_{15}^{зб}; \\
 P(x_0, x_3, x_{35}, x_{356}) &= x_0^{cpx} x_3^{зб} x_{35}^{pp} = СП_{16}^{зб}; \\
 P(x_0, x_3, x_{35}, x_{357}) &= x_0^{cpx} x_3^{зб} x_{35}^{сдоp} = СП_{17}^{зб}; \\
 P(x_0, x_3, x_{35}, x_{358}) &= x_0^{cpx} x_3^{зб} x_{35}^{нр} = СП_{18}^{зб}; \\
 P(x_0, x_3, x_{36}) &= x_0^{cpx} x_3^{збп} = СП_{19}^{збп}; \\
 P(x_0, x_3, x_{37}) &= x_0^{cpx} x_3^{аво} = СП_{20}^{аво}.
 \end{aligned}$$

До компонентів військової природно-техногенної геосистеми (ВПТГС), які визначають, характеризують і безпосередньо впливають на її стан, належать: абіотичні компоненти екосистеми, біотичні компоненти екосистеми та параметри військової інфраструктури (Чумаченко, & Сорокін, 2009) (рис. 7):

$$y_0^{абк} \vee y_0^{бк} \vee y_0^{нін} = 1.$$

Параметри абіотичних компонентів екосистеми:

а) компоненти складових навколишнього середовища:

$$y_{11}^{атм} \vee y_{11}^{ср} \vee y_{11}^e = 1,$$

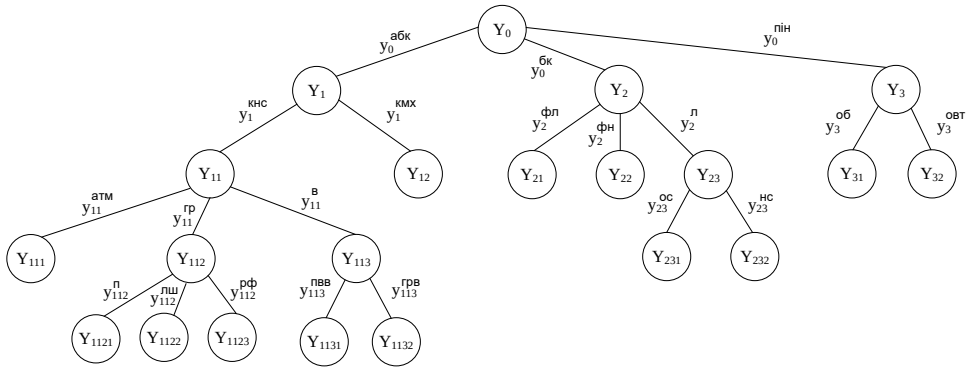


Рис. 7. Ієрархічна структура елемента y_0 — «компоненти ВПТГС»

- параметри приземного шару атмосфери:

$$P(y_0, y_1, y_{11}, y_{111}) = y_0^{абк} y_1^{кнс} y_{11}^{пв} = ABK_1^{кнс};$$

- параметри ґрунтів (ґрунти, ландшафт, рельєф):

$$y_{112}^n \vee y_{112}^{лш} \vee y_{112}^{рф} = 1;$$

$$P(y_0, y_1, y_{11}, y_{112}, y_{1121}) = y_0^{абк} y_1^{кнс} y_{11}^{гр} y_{112}^n = ABK_2^{кнс};$$

$$P(y_0, y_1, y_{11}, y_{112}, y_{1122}) = y_0^{абк} y_1^{кнс} y_{11}^{гр} y_{112}^{лш} = ABK_3^{кнс};$$

$$P(y_0, y_1, y_{11}, y_{112}, y_{1123}) = y_0^{абк} y_1^{кнс} y_{11}^{гр} y_{112}^{рф} = ABK_4^{кнс};$$

- параметри води (поверхневі, ґрунтові):

$$y_{113}^{пвв} \vee y_{113}^{гров} = 1;$$

$$P(y_0, y_1, y_{11}, y_{113}, y_{1131}) = y_0^{абк} y_1^{кнс} y_{11}^{в} y_{113}^{пвв} = ABK_5^{кнс};$$

$$P(y_0, y_1, y_{11}, y_{113}, y_{1132}) = y_0^{абк} y_1^{кнс} y_{11}^{в} y_{113}^{гров} = ABK_6^{кнс};$$

б) компоненти складових кліматично-метеорологічної характеристики навколишнього середовища:

- природний радіаційний фон, Р/год:

$$P(y_0, y_2, y_{12}, y_{121}) = y_0^{абк} y_1^{кмх} y_{12}^{нрф} = ABK_7^{кмх};$$

- температурний режим (повітря, ґрунт, поверхневі води), 0C :

$$y_{122}^{тмп} \vee y_{122}^{тмг} \vee y_{122}^{тмв} = 1;$$

$$P(y_0, y_2, y_{12}, y_{122}, y_{1221}) = y_0^{абк} y_1^{кмх} y_{12}^{тмр} y_{122}^{тмп} = ABK_8^{кмх};$$

$$P(y_0, y_2, y_{12}, y_{122}, y_{1222}) = y_0^{абк} y_1^{кмх} y_{12}^{тмр} y_{122}^{тмг} = ABK_9^{кмх};$$

$$P(y_0, y_2, y_{12}, y_{122}, y_{1223}) = y_0^{абк} y_1^{кмх} y_{12}^{тмр} y_{122}^{тмв} = ABK_{10}^{кмх};$$

- тиск атмосферного повітря, мм. рт. ст. або Па:

$$P(y_0, y_2, y_{12}, y_{123}) = y_0^{абк} y_1^{кмх} y_{12}^{атм} = ABK_{11}^{кмх};$$

- вітровий режим (швидкість, напрямок), м/с:

$$y_{124}^{шв} \vee y_{124}^{нв} = 1;$$

$$P(y_0, y_2, y_{12}, y_{124}, y_{1241}) = y_0^{абк} y_1^{кмх} y_{12}^{вр} y_{124}^{шв} = ABK_{12}^{кмх};$$

$$P(y_0, y_2, y_{12}, y_{124}, y_{1242}) = y_0^{абк} y_1^{кмх} y_{12}^{вр} y_{124}^{нв} = ABK_{13}^{кмх};$$

- відносна вологість повітря, %:

$$P(y_0, y_2, y_{12}, y_{125}) = y_0^{ab\kappa} y_1^{kmx} y_{12}^{ввп} = ABK_{14}^{kmx};$$

- хмарність, бали:

$$P(y_0, y_2, y_{12}, y_{126}) = y_0^{ab\kappa} y_1^{kmx} y_{12}^{xm} = ABK_{15}^{kmx};$$

- опади (кількість, хімічний склад), мм:

$$P(y_0, y_2, y_{12}, y_{127}, y_{1271}) = y_0^{ab\kappa} y_1^{kmx} y_{12}^{ep} y_{127}^{kc} = ABK_{16}^{kmx};$$

$$P(y_0, y_2, y_{12}, y_{127}, y_{1272}) = y_0^{ab\kappa} y_1^{kmx} y_{12}^{ep} y_{127}^{xc} = ABK_{17}^{kmx};$$

- сонячна інсоляція, кал/см²:

$$P(y_0, y_2, y_{12}, y_{128}) = y_0^{ab\kappa} y_1^{kmx} y_{12}^{cin} = ABK_{18}^{kmx}.$$

Параметри біотичних компонентів біоценозу:

$$y_2^{fn} \vee y_2^{fn} \vee y_2^{\eta} = 1;$$

- компоненти флори:

$$P(y_0, y_2, y_{21}) = y_0^{\delta\kappa} y_2^{fn} = BK_1^{fn};$$

- компоненти фауни:

$$P(y_0, y_2, y_{22}) = y_0^{\delta\kappa} y_2^{fn} = BK_2^{fn};$$

- компоненти, що характеризують стан здоров'я людини (військовослужбовці, населення):

$$y_{23}^{oc} \vee y_{23}^{\eta} = 1;$$

$$P(y_0, y_2, y_{23}, y_{231}) = y_0^{\delta\kappa} y_2^{\eta} y_{23}^{oc} = BK_3^{\eta};$$

$$P(y_0, y_2, y_{23}, y_{232}) = y_0^{\delta\kappa} y_2^{\eta} y_{23}^{\eta} = BK_4^{\eta}.$$

За джерелами впливу параметри інфраструктури поділяються на стаціонарні об'єкти та озброєння і військову техніку:

$$y_3^{ob} \vee y_3^{oem} = 1.$$

До стаціонарних об'єктів військово-техногенної території належать: парки озброєння і техніки, навчальні поля та стрільбища, житлова зона, складська зона і, за наявності, будівельні майданчики:

$$y_{31}^{nbm} \vee y_{31}^{ych} \vee y_{31}^{жстз} \vee y_{31}^{бдм} = 1.$$

У свою чергу, до складу парків озброєння і техніки входять: пункти заправки та склади ПММ, акумуляторні, пункти технічного обслуговування й ремонту, пункти чищення та миття техніки, пункти збирання відпрацьованих мастил і спеціальних рідин, місця зберігання озброєння, бойової та іншої техніки:

$$y_{31}^{nmm} \vee y_{31}^{акм} \vee y_{31}^{nmp} \vee y_{31}^{nчм} \vee y_{31}^{нзр} \vee y_{31}^{мзт} = 1;$$

$$P(y_0, y_3, y_{31}, y_{311}, y_{3111}) = y_0^{nin} y_3^{ob} y_{31}^{nbm} y_{311}^{nmm} = ПН_1^{ob};$$

$$P(y_0, y_3, y_{31}, y_{311}, y_{3112}) = y_0^{nin} y_3^{ob} y_{31}^{nbm} y_{311}^{акм} = ПН_2^{ob};$$

$$P(y_0, y_3, y_{31}, y_{311}, y_{3113}) = y_0^{nin} y_3^{ob} y_{31}^{nbm} y_{311}^{nmp} = ПН_3^{ob};$$

$$P(y_0, y_3, y_{31}, y_{311}, y_{3114}) = y_0^{nin} y_3^{ob} y_{31}^{nbm} y_{311}^{nчм} = ПН_4^{ob};$$

$$P(y_0, y_3, y_{31}, y_{311}, y_{3115}) = y_0^{nin} y_3^{ob} y_{31}^{nbm} y_{311}^{нзр} = ПН_5^{ob};$$

$$P(y_0, y_3, y_{31}, y_{311}, y_{3116}) = y_0^{nin} y_3^{ob} y_{31}^{nbm} y_{311}^{мзт} = ПН_6^{ob}.$$

Навчальні поля та стрільбища:

$$P(y_0, y_3, y_{31}, y_{312}) = y_0^{nin} y_3^{об} y_{31}^{учп} = \Pi H_7^{об}.$$

До складу житлової зони належать такі основні об'єкти: об'єкти казармо-житлового фонду, їдальні, майстерні, котельні, системи водопостачання, каналізації та очисні споруди, звалища відходів:

$$y_{313}^{кжф} \vee y_{313}^{ід} \vee y_{313}^{мст} \vee y_{313}^{кт} \vee y_{313}^{свп} \vee y_{313}^{скн} \vee y_{313}^{свв} = 1;$$

$$P(y_0, y_3, y_{31}, y_{313}, y_{3131}) = y_0^{nin} y_3^{об} y_{31}^{жтз} y_{313}^{кжф} = \Pi H_8^{об};$$

$$P(y_0, y_3, y_{31}, y_{313}, y_{3132}) = y_0^{nin} y_3^{об} y_{31}^{жтз} y_{313}^{ід} = \Pi H_9^{об};$$

$$P(y_0, y_3, y_{31}, y_{313}, y_{3133}) = y_0^{nin} y_3^{об} y_{31}^{жтз} y_{313}^{мст} = \Pi H_{10}^{об};$$

$$P(y_0, y_3, y_{31}, y_{313}, y_{3135}) = y_0^{nin} y_3^{об} y_{31}^{жтз} y_{313}^{свп} = \Pi H_{11}^{об};$$

$$P(y_0, y_3, y_{31}, y_{313}, y_{3136}) = y_0^{nin} y_3^{об} y_{31}^{жтз} y_{313}^{скн} = \Pi H_{12}^{об};$$

$$P(y_0, y_3, y_{31}, y_{313}, y_{3137}) = y_0^{nin} y_3^{об} y_{31}^{жтз} y_{313}^{свв} = \Pi H_{13}^{об}.$$

Складська зона:

$$P(y_0, y_3, y_{31}, y_{314}) = y_0^{nin} y_3^{об} y_{31}^{скз} = \Pi H_{14}^{об}.$$

Будівельні майданчики:

$$P(y_0, y_3, y_{31}, y_{315}) = y_0^{nin} y_3^{об} y_{31}^{бдм} = \Pi H_{15}^{об}.$$

За призначенням ОВТ являє собою військову техніку (бойові машини, техніка забезпечення повсякденної життєдіяльності), стрілецьку зброю і артилерійське озброєння:

$$y_{32}^{вт} \vee y_{32}^{стз} \vee y_{32}^{озб} = 1;$$

$$y_3^{бм} \vee y_3^{ст} = 1;$$

$$P(y_0, y_3, y_{32}, y_{321}, y_{3211}) = y_0^{nin} y_3^{овт} y_{32}^{вт} y_{321}^{бм} = \Pi H_{16}^{овт};$$

$$P(y_0, y_3, y_{32}, y_{322}) = y_0^{nin} y_3^{овт} y_{32}^{стз} = \Pi H_{17}^{овт};$$

$$P(y_0, y_3, y_{32}, y_{323}) = y_0^{nin} y_3^{овт} y_{32}^{озб} = \Pi H_{18}^{овт}.$$

Подальший ієрархічний розподіл за гілкою графа (рис. 8), що описує наявні озброєння та військову техніку, здійснюється відповідно до специфічних військово-техногенних об'єктів.

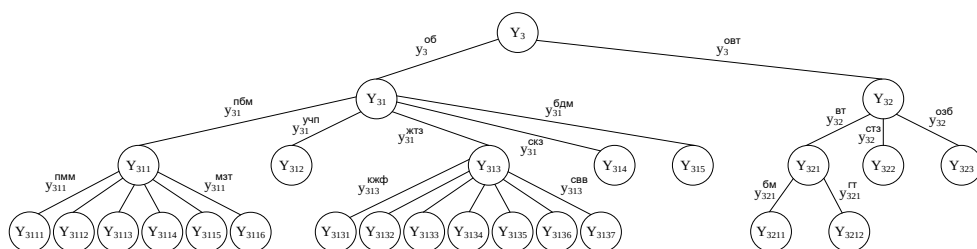


Рис. 8. Ієрархічна структура елемента y_3 — «параметри військової інфраструктури»

Таким чином, багатовимірне відображення інформації вказує наявність чинника впливу на НС та характеризує його інтенсивність. Рівняння, які описують стан ВПТГС, можуть бути представлені у вигляді перемикального ланцюга, та реалізовані апаратно. Відповідно до визначених чарунок гіперкуба, за допомогою

розроблених моделей формується раціональний (обґрунтовано визначений) вектор екологічного стану відповідно до конкретного об'єкта, ВПТГС чи ситуації, що склалась, який реалізується у вигляді екологічного портрета (Козуля, & Петрухін, 2007), і надає інформацію до ОПР. При цьому відображається вплив і результативність усіх чинників зовнішньої і внутрішньої дії на кожний окремий компонент об'єкта спостереження, що сприяє отриманню оперативної та достовірної інформації про стан об'єкта дослідження.

Враховуючи розвиток теорії інформації та практики прийняття управлінських рішень щодо урегулювання відносин між соціо-еколого-економічною системою і природною екосистемою, представлення даних на основі ІКЕС харчового підприємства стає перспективним підходом щодо оптимізації управлінського рішення. Під час роботи з екологічним портретом, за рахунок описаного мовою алгебри скінченних предикатів вектора екологічного стану, ОПР має можливість отримувати тільки необхідну та достатню інформацію для прийняття ефективного управлінського рішення, відповідно до поставленого завдання з екологічної безпеки. Окрім загального вектора екологічного стану ПТГС в цілому, багатовимірною моделлю представлення інформації дає змогу формувати вектори стану кожної із складових підсистем ІКЕС харчового підприємства: екологічної, економічної та соціальної.

Висновки

Отже, проведені дослідження підтвердили доцільність застосування багатовимірної моделі зберігання та відображення інформації про стан ПТГС харчового підприємства на основі технологій оперативної аналітичної обробки даних та з використанням мови алгебри скінченних предикатів як методу інтелектуального аналізу, що здатний враховувати та відображати багатофакторність екологічних процесів. Це дає змогу розглядати всю ієрархічну структуру компонентів, що характеризують стан довкілля та працювати ОПР із тим ступенем агрегації даних, який зручний в кожній конкретній ситуації.

У результаті досліджень:

- 1) представлена модель багатовимірного надання інформації, яка розроблена з метою підвищення ефективності вирішення науково-практичних завдань екологічної безпеки;
- 2) визначено спосіб формування вектора екологічного стану ПТГС харчового підприємства на основі багатовимірної інформаційної моделі.

Література

- Анищенко, Л. Я., Свердлов, Б. С., Писня, Л. А. (2009). Выбор экологически безопасного варианта судебного хода на основе многокритериальной комплексной оценки воздействий с применением экспертно-аналитических процедур. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*: зб. наук. праць УкрНДІЕП, 1, 38—60.
- Бондаренко, М. Ф., Шабанов-Кушнаренко, С. Ю., Шабанов-Кушнаренко, Ю. П. (2008). Про загальну теорію компараторної ідентифікації. *Біоніка інтелекту*, 2 (69), 13—22.
- Козуля, Т. В., Петрухін, С. Ю. (2007). Місце екологічного портрету території в інформаційному забезпеченні систем моніторингу. *Вестник Херсонского национального технического университета*, 4 (27), 230—233.

- Козуля, Т. В. Петрухін, С. Ю. (2007). Корпоративна інформаційна система: концепція та структура. *Радиоелектроника и информатика*, 3(38), 87—91.
- Мальований, С. В., Беденко, Л. Б., Зінченко, В. Д., Григор'єв, О. М. (2009). Небезпечні речовини та їх властивості: Довідник. Харків: ФВІП НТУ ХПІ.
- Наказ № 457 від 11.10.2010 р. ДК 019:2010. Класифікатор надзвичайних ситуацій. Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10#Text>.
- Петрухін, С. Ю. (2009). Напрями розробки інформаційної корпоративної екологічної системи військово-техногенних територій. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 6/5(42), 48—52.
- Романченко, І. С., Лисенко, О. І., Чумаченко, С. М., Бутенко, С. Г., Турейчук, А. М. (2009). *Математичні моделі та інформаційні технології оцінки і прогнозування стану природного середовища випробувальних полігонів*. Монографія. Київ: МО України, ЦНДІ ЗС України.
- Романченко, І. С., Лисенко, О. І., Чумаченко, С. М., Бутенко, С. Г., Борисюк, С. Л. (2011). Методологія побудови системи екологічної безпеки при застосуванні Збройних Сил України. *Наука і оборона*, 3, 57—64.
- Чумаченко, С. М., Сорокін, А. М. (2009). *Формування вектора стану військової природно-техногенної геосистеми морських десантних полігонів із використанням системного підходу*. Теоретичні та прикладні аспекти моделювання соціоекологоекономічних процесів в економічній системі регіону на прикладі Міжнародного центру миротворчості та безпеки та Яворівської вільної економічної зони: перша наук.-практ. конф., 13—16 жовт. 2009 р. Київ: ДУІКТ.
- Чумаченко, С. М., Парталіян, А. С. (2018). Інформаційні технології в задачах управління екологічною безпекою військових об'єктів. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського*, 29(68), 1, 15—20.
- Чумаченко, С. М., Яковлев, Є. О., Пиріков, О. В., Парталіян, А. С. (2022). Особливості реалізації мережі екологічного моніторингу бойових дій для Збройних Сил України. *Екологічна безпека та природокористування*, 2(42), 23—34.
- Варламов, Е. Н. (2007). *Вопросы мониторинга окружающей природной среды на региональном уровне и его информационное обеспечение*. Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: III міжнар. наук.-практ. конф. Харків: Райдер.
- Bondarenko, M. F., Dudar, Z., Kushnarenko-Shabanov, Y. P., Chikin, V., Protsay, N. T., Cherkashin, V. (2005). Algebra of predicates and predicate operations. *Radioelectronics and Computer Science*, 1, 80—86.
- Cempírek, M., Komár, A., Vincenec, V. (2013). The Basics of Environmental Security in Military Operations. *Vojenské rozhledy*, 22(1), 89—99.
- Chumachenko, S. M. (2022). Application of the index-indicator approach for mathematical modeling of the influence of militarytechnogenic load on the ecological state of the components of the environment in the areas of combat operations. Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток. Колективна монографія за матеріалами XXI Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 14—16 листопада 2022 р.). Київ: ТОВ «Видавництво «Юстон».
- Leitenberg, M. (2001). Biological weapons in the twentieth century: a review and analysis. *Crit. Rev. Microbiol.*, 27, 267—320.
- Ganesan, K., Raza, S. K., Vijayaraghavan, R. (2010). Chemical warfare agents. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 2(3), 166—178.
- Sharonova, N. V., Kozulia, T. V. (2008). Entropy as Substratum of identifying the Corporative Ecological system (CES) condition. *Вестник Херсонского национального технического университета*, 2(31), 518—527.
- Posudin, Yu. (2014). *Methods of measuring environmental parameters*. Wiley & Sons.

INFLUENCE OF COMPETITIVE EUKARYOTIC MICROORGANISMS ON THE SYNTHESIS AND PROPERTIES OF SECONDARY METABOLITES. PART 2. YEAST AS REGULATORS OF SYNTHESIS AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF SECONDARY METABOLITES

T. Pirog, M. Parfeniuk

National University of Food Technologies

Key words:

Co-cultivation

Inducer

Yeasts

Secondary metabolites

Article history:

Received 12.07.2023

Received in revised form
28.07.2023

Accepted 11.08.2023

Corresponding author:

T. Pirog

E-mail:

tapirog@nuft.edu.ua

Citation: Т. П. Пирог, М. А. Парфенюк (2023). Вплив конкурентних еукаріотичних мікроорганізмів на синтез і властивості вторинних метаболітів. Частина 2. Дріжджі як регулятори синтезу та біологічної активності вторинних метаболітів. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 50—60.
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-6

ABSTRACT

From year to year, the number of publications with the keywords "co-cultivation" and "co-culture" is increasing, which deals with the cultivation of practically valuable metabolites producers with competitive microorganisms or biological inducers, which makes it possible to increase the synthesis and/or activity of the final product. The vast majority of publications on this topic are devoted to the co-cultivation of bacteria and micromycetes, but in recent years there have been reports on the cultivation of bacteria with yeast and the using yeast inducers as a factor regulating the secondary metabolites synthesis by prokaryotes. The few analyzed literature data confirm the importance of co-cultivation as a new tool for intensifying the synthesis of practically valuable secondary metabolites, regulation of their biological activity and even the discovery of new biologically active compounds. Thus, according to literature data, under co-cultivation of bacterial producers with yeast, it is possible to increase the synthesis of surfactants by 2—12, antibiotics — 1.5, and other secondary metabolites — 1.1—8 times. However, despite the increase in the synthesis of secondary metabolites, their concentration is not high enough compared to that synthesized by industrial producers. The effect of yeast inducers on the synthesis of biologically active compounds also requires further research, since, according to the literature data, their addition was not always accompanied by an intensification of the final products synthesis. One of the approaches to solving this problem can be the expansion of the spectrum of yeasts used for this, since in the vast majority of works saccharomycete yeast cells were used as inducers.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-6

ВПЛИВ КОНКУРЕНТНИХ ЕУКАРІОТИЧНИХ МІКРООРГАНІЗМІВ НА СИНТЕЗ І ВЛАСТИВОСТІ ВТОРИННИХ МЕТАБОЛІТІВ. ЧАСТИНА 2. ДРІЖДЖІ ЯК РЕГУЛЯТОРИ СИНТЕЗУ ТА БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ ВТОРИННИХ МЕТАБОЛІТІВ

Т. П. Пирог, М. А. Парфенюк

Національний університет харчових технологій

З року в рік збільшується кількість публікацій з ключовими словами «co-cultivation» і «co-culture», в яких мова йде про культивування продуцентів практично цінних метаболітів з конкурентними мікроорганізмами або біологічними індукторами, що дає змогу підвищити синтез та/або активність цільового продукту. Переважна більшість публікацій з цієї тематики присвячена спільному культивуванню бактерій і мікроміцетів, але упродовж останніх років з'являються повідомлення про вирощування бактерій з дріжджами і використання дріжджових індукторів як фактора регуляції синтезу вторинних метаболітів прокаріотами. Проаналізовані нечисленні літературні дані підтверджують значення спільного культивування як нового інструменту для інтенсифікації синтезу практично цінних вторинних метаболітів, регуляції їх біологічної активності і навіть відкриття нових біологічно активних сполук. Так, згідно з даними літератури у процесі спільного культивування бактеріальних продуцентів із дріжджами вдається підвищити синтез поверхнево-активних речовин у 2–12, антибіотиків — у 1,5, інших вторинних метаболітів — в 1,1–8 разів. Водночас, незважаючи на збільшення синтезу вторинних метаболітів, їх концентрація є недостатньо високою порівняно із синтезованою промисловими продуцентами. Потребує подальших досліджень і вплив дріжджових індукторів на синтез біологічно активних сполук, оскільки за даними літератури їх додавання не завжди супроводжувалося інтенсифікацією синтезу цільових продуктів. Одним із підходів до вирішення цієї проблеми може бути розширення спектра використовуваних для цього дріжджів, оскільки у переважній більшості досліджень як індуктори використовували клітини дріжджів-сахароміцетів.

Ключові слова: спільне культивування, індуктор, дріжджі, вторинні метаболіти.

Постановка проблеми. У нашій попередній праці (Пирог, & Парфенюк, 2023) зазначалося, що зростаюча резистентність патогенних мікроорганізмів до антибіотиків стимулювала пошук нових нетоксичних екологічно безпечних антимікробних метаболітів природного походження. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є стратегія спільного вирощування продуцента з конкурентними мікроорганізмами або внесення у середовище культивування так званих біологічних індукторів, що дає змогу не тільки підвищити синтез цільового продукту і посилити його антимікробну активність, а й забезпечити утворення нових, нехарактерних для монокультур біологічно-активних речовин у результаті активації

мовчазних кластерів біосинтетичних генів (Rutledge, & Challis, 2015; Tan та ін., 2019; Tamm, Ucciferri, & Ross, 2019; Arora, Gupta, Jaglan, Roullier, Grovel, & Bertrand, 2020; Hoskisson, & Seipke, 2020).

Переважає більшість публікацій з цієї тематики присвячена спільному культивуванню бактерій (Alves, Sequeira, & Cunha, 2019; Pirog, Kluchka, Skrotska, & Stabnikov, 2020; Qiao та ін., 2022), але упродовж останніх років з'являється все більше інформації про вирощування бактерій — продуцентів антимікробних речовин з еукаріотами, зокрема мікроміцетами (Пирог, & Парфенюк, 2023), а також дріжджами (Ariana, & Hamed, 2017; Wang, Miao, Qiao, Xu, & Cheng, 2022) і використання дріжджових індукторів як фактора регуляції синтезу вторинних метаболітів прокаріотами (Shi, Tao, & Liu, 2017; Song, Ma, Bechthold, & Yu, 2020).

Зазначимо, що поняття «спільне культивування мікроорганізмів» і «біологічний індуктор» є різними, про що йшлося в наших попередніх дослідженнях (Пирог, Іванов, & Ярова, 2021; Пирог, & Парфенюк, 2023). У процесі спільного вирощування інокулат обох штамів (і продуцента, і конкурентного мікроорганізму) вносять у середовище культивування в практично однаковій концентрації. У другому випадку живі або інактивовані клітини індуктора, або супернатант (фільтрат) після вирощування конкурентного мікроорганізму вносять у середовище у значно нижчій концентрації порівняно з клітинами продуцента цільових метаболітів.

Мета статті: узагальнення літературних даних щодо регуляції синтезу та біологічної активності вторинних метаболітів під час спільного культивування бактеріальних продуцентів із дріжджами, або внесення дріжджових індукторів у середовище культивування бактерій.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження стали наукові публікації зарубіжних учених у провідних періодичних і спеціалізованих світових виданнях, що стосуються впливу спільного культивування бактерій і дріжджів, або використання дріжджових індукторів на утворення та біологічну активність різних вторинних метаболітів.

Викладення основних результатів дослідження. Спільне культивування продуцентів вторинних метаболітів з дріжджами. У літературі наведено дані щодо впливу конкурентних дріжджів на синтез поверхнево-активних речовин (ПАР) (Priya та ін., 2015; Wang, Miao, Qiao, Xu, & Cheng, 2022), антибіотиків (Ariana, & Hamed, 2017), а також інших вторинних метаболітів (Zhang та ін., 2017).

Поверхнево-активні речовини. У праці (Ding, Guo, & Chen, 2019) було встановлено, що в разі внесення у середовище культивування *Bacillus amyloliquefaciens* PC3 екзогенних жирних кислот підвищувалася концентрація ліпопептидів у культуральній рідині та їх антимікробна активність. Тому пізніше інші автори (Bai та ін., 2022) досліджували вплив дріжджів *Yarrowia lipolytica* YL21, які синтезують C₁₄-C₁₈ жирні кислоти, на синтез ліпопептидів *B. amyloliquefaciens* HM618. Показано, що після спільного культивування продуцента ПАР з дріжджами у середовищі з глюкозою концентрація синтезованих штамом HM618 фенгіцину, сурфактину та ітуруну А збільшувалась у 7,24, 12,13 та 3,23 рази відповідно порівняно з показниками вирощування монокультури *B. amyloliquefaciens* HM618.

Ліпопептиди, синтезовані співкультурою, виявляли вищу антифунгальну активність щодо *Botrytis cinerea* і *Rhizoctonia solani*, ніж синтезовані монокультурою.

У праці (Wang, Miao, Qiao, Xu, & Cheng, 2022) встановлено, що спільне культивування на харчових відходах *B. amyloliquefaciens* HM618 з генно-інженерними штамами *Pichia pastoris* GS115, яким притаманна амілазна та ліпазна активність, супроводжувалося підвищенням концентрації утвореного фенгіцину у 7 і 2 рази відповідно порівняно з показниками синтезу ПАР бактеріальною монокультурою.

Дослідження, проведені з цим же продуцентом ліпопептидів (Chen та ін., 2022) підтвердили, що результатом спільного вирощування *B. amyloliquefaciens* HM618 з генно-інженерним бактеріальним надсинтетиком проліну *Corynebacterium glutamicum* стало збільшення у 3,19, 2,05 та 1,63 рази концентрації ітуруину А, фенгіцину та сурфактину відповідно порівняно з синтезом штамом HM618. Спільне культивування трьох штамів (продуцента ПАР *B. amyloliquefaciens* HM618, надсинтетика проліну *C. glutamicum* та рекомбінантного штаму дріжджів *P. pastoris* GS115 з амілазною активністю) дало змогу підвищити синтез ліпопептидів на харчових відходах. Зазначимо, що позитивний вплив проліну на утворення ліпопептидів полягає в тому, що ця амінокислота входить до складу цих поверхнево-активних речовин.

У праці (Priya та ін., 2015) зазначається, що для регуляції синтезу ПАР *Bacillus pumilus* TER1 MS2 і *Bacillus licheniformis* TER1 MS3 можливим є культивування цих бактеріальних штамів із дріжджами *Candida vishwanathii* TER1 MS1. Під час спільного вирощування бактеріальних штамів з дріжджами на нафті в умовах, описаних раніше (Simons та ін., 2013; Sheppard та ін., 2014), посилювався синтез ПАР, про що свідчило зниження поверхневого натягу вільної від клітин культуральної рідини співкультури до 26 мН/м порівняно з 69 мН/м для монокультур бактерій роду *Bacillus*.

Отже, наведені дані підтверджують можливість підвищення синтезу поверхнево-активних речовин та їх антифунгальної активності у результаті спільного культивування бактеріальних продуцентів ПАР з дріжджами.

Антибіотики. Натепер у доступній літературі нам вдалося знайти лише одну працю, присвячену підвищенню синтезу антибіотиків у результаті ко-культивування бактеріальних продуцентів з дріжджами. Так, у процесі спільного вирощування *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* UTMC 106 з дріжджами *Y. lipolytica* ATCC 18942 концентрація утвореного нізину в культуральній рідині була на 53,4% вищою порівняно з синтезованою монокультурою *L. lactis* subsp. *lactis* UTMC 106 (Ariana, & Hamed, 2017). Автори вважають, що одним з механізмів підвищення синтезу антибіотика є споживання дріжджами утворюваної лактобактеріями молочної кислоти, що супроводжується підвищенням pH, завдяки чому продуцент довше перебуває у продуктивній для синтезу нізину фазі росту.

Інші вторинні метаболіти. Відомо, що результатом спільного культивування бактеріальних продуцентів із дріжджовими конкурентними мікроорганізмами є утворення й інших вторинних метаболітів: флавоноїдів (Zhang та ін., 2017; бактеріоцинів (Balabekyan, Karapetyan, Khachatryan, Khachatryan, & Tatikyan, 2018; Nie та ін., 2023).

Так, під час спільного вирощування *Escherichia coli* і *Saccharomyces cerevisiae* на такому субстраті, як ксилоза спостерігали незначне (на 6,1%) підвищення синтезу флавоноїду нарінгеніну порівняно з показниками синтезу монокультурою бактерій (Zhang та ін., 2017).

Balabekyan із співавт. (Balabekyan, Karapetyan, Khachatryan, Khachatryan, & Tatikyan, 2018) встановили, що в ході спільного культивування молочнокислих бактерій *Lactobacillus rhamnosus* 2012 із дріжджами *Kluveromyces marxianus* 86 синтезуються антимікробні сполуки з вищою антимікробною активністю, ніж синтезовані монокультурою лактобактерій. Супернатант після вирощування співкультури ефективніше на 20—50% пригнічував ріст *Staphylococcus aureus* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus mirabilis* та *Klebsiella* sp., ніж супернатант після культивування *L. rhamnosus* 2012.

Спільне культивування продуцента бактеріюцину (плантарицину) *Lactiplantibacillus paraplantarum* RX-8 з дріжджами *Wickerhamomyces anomalus* Y-5 супроводжувалося підвищенням синтезу цього антимікробного метаболіту: на 24 год вирощування активність плантарицину досягала 512 Од/мл, що у 8 разів вище порівняно з показниками, встановленими для монокультури *L. paraplantarum* RX-8 (Nie та ін., 2023).

Узагальнену інформацію щодо впливу конкурентних дріжджів на утворення вторинних метаболітів бактеріями наведено в табл. 1. Такі дані засвідчують можливість використання спільного культивування бактеріальних продуцентів із дріжджами з метою посилення синтезу ПАР (у 2—12 разів), незначною мірою — антибіотиків (у 1,5 раза) та інших вторинних метаболітів (в 1,1—8 разів) (у табл. 1 не наведено).

Таблиця 1. Синтез поверхнево-активних речовин і антибіотиків у процесі спільного культивування бактерій-продуцентів з дріжджами

Продуцент	Конкурентні дріжджі	Середовище для вирощування інокуляту продуцента/ конкурентних дріжджів	Субстрат для культивування співкультури	Концентрація вторинних метаболітів монокультура/ співкультура	Література
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> HM618	<i>Yarrowia lipolytica</i> YL21	Дріжджовий екстракт-пептоно-декстрозний агар	Глюкоза	Фенгіцин: 10,52/76,19 мг/л; сурфактин: 15,89/192,80 мг/л; ігурип А: 9,69/31,32 мг/л	Bai та ін, 2022
<i>Lactococcus lactis</i> sub sp. <i>lactis</i> UTMС 106	<i>Yarrowia lipolytica</i> ATCC 18942	Сахароза, дріжджовий екстракт, пептон, неорганічні солі/ Дріжджовий екстракт, пептон, гліцерин	Меляса	Нізин: 176/270 мг/л	Ariana, & Hamedі, 2017

<i>Escherichia coli</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Середовище Лурія-Бертані/ Глюкоза, суміш амінокислот	Ксилоза	Нарингенін: 19,94/21,16 ± 0,41 мг/л	Zhang та ін, 2017
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> HM618	<i>Pichia pastoris</i> GS115-amy70	Дріжджовий екстракт-пептоно-декстрозний агар	Харчові відходи	Фенгіцин: 2,4/15,9 мг/л	Wang, Miao, Qiao, Xu, & Cheng, 2022
	<i>Pichia pastoris</i> GS115-lip7	Дріжджовий екстракт-пептоно-декстрозний агар	Харчові відходи	Фенгіцин: 2,4/4,6 мг/л	

Нові вторинні метаболіти. У літературі є кілька повідомлень про утворення нових вторинних метаболітів як результат спільного культивування бактерій з дріжджами (Minami та ін., 2008; Zhou, Qiao, Edgar, & Stephanopoulos, 2015; Robbins та ін., 2016).

У праці (Robbins та ін., 2016) показано, що під час спільного вирощування *Actinomycete* sp. WAC 2288 з дріжджами *Cryptococcus neoformans* синтезується макролактон ібоміцин, який характеризувався антимікробною активністю щодо *C. neoformans*.

Zhou із співавт. (Zhou, Qiao, Edgar, & Stephanopoulos, 2015) встановили можливість синтезу оксигенованого алкалоїду таксану концентрацією 33 мг/л під час вирощування *E. coli* з *S. cerevisiae* на глюкозі. За використання такої ж спільної культури Minami та співавт. (Minami та ін., 2008) одержали бензилхінолінові алкалоїди магнофлорин та скулерин концентраціями 7,2 та 8,3 мг/л відповідно.

Синтез поверхнево-активних речовин і антибіотиків за наявності дріжджових індукторів. У літературі є інформація про вплив дріжджових індукторів на синтез вторинних метаболітів прокаріотичними продуцентами. Більша частина такої інформації присвячена індукції синтезу антибіотиків (Wang, Yuan, Gu, & Shi, 2013; Sharma та ін., 2017; Shi, Tao, & Liu, 2018; Song, Ma, Bechthold, & Yu, 2020;), менша — поверхнево-активних речовин (Ramchandran, Ramesh, Thakur, Chakrabarti, & Roy, 2020).

Поверхнево-активні речовини. У праці (Ramchandran, Ramesh, Thakur, Chakrabarti, & Roy, 2020) встановлено, що за наявності інактивованих нагріванням дріжджових клітин *Candida albicans* SC 5314 у середовищі культивування продуцента ПАР *Bacillus subtilis* RLID 12.1. концентрація синтезованих ліпопептидів AF₃ і AF₅ підвищувалася в 1,4 і 2 рази відповідно порівняно з показниками без індуктора. Крім того, одержані поверхнево-активні речовини виявляли антифунгальну дію на дріжджі роду *Candida*: мінімальні інгібуючі концентрації становили 4—16 мкг/мл.

Антибіотики. У більшості публікацій наявна інформація про синтез антибіотиків актинобактеріями роду *Streptomyces* за наявності клітин *Saccharomyces*

cerevisiae: живих (Wang, Yuan, Gu, & Shi, 2013; Sharma та ін., 2017) та інактивованих (Song, Ma, Bechthold, & Yu 2020), або відповідного супернатанту (Shi, Tao, & Liu 2017; Song, Ma, Bechthold, & Yu 2020).

Дослідники (Wang, Yuan, Gu, & Shi, 2013) здійснювали вирощування продуценту *Streptomyces natalensis* HW-2 за наявності живих клітин *S. cerevisiae* AS 2.2081 або супернатанту. Встановлено, що в разі внесення живих дріжджових клітин (10 мг/л) індукції синтезу натаміцину не відбувалося, а додавання відповідного супернатанту (2,5%) супроводжувалося незначним (на 10%) підвищенням концентрації цього антибіотика порівняно з показниками у середовищі без індуктора.

У праці (Shi, Tao, & Liu 2017) також досліджували вплив *S. cerevisiae* (штам не вказано) на синтез натаміцину, але іншим продуцентом (*Streptomyces natalus* N5). Як індуктор використовували супернатант дріжджів (5%), який вносили у середовище з глюкозою на початку культивування. Експерименти показали, що наявність індуктора не впливала на утворення антибіотика.

Song із співавт. (Song, Ma, Bechthold, & Yu 2020) встановили, що синтез антибіотика римоцидину штамом *Streptomyces rimosus* M527 за наявності *S. cerevisiae* A3 залежав від фізіологічного стану індуктора. Так, у разі внесення в середовище культивування продуцента антибіотика індуктора у вигляді супернатанту та живих клітин дріжджів концентрація римоцидину підвищувалася на 64 і 36% відповідно порівняно з такою без індуктора. Інактивовані клітини дріжджового індуктора не впливали на синтез римоцидину.

У праці (Sharma та ін., 2017) показано, що за наявності живих клітин *S. Cerevisiae* (штам не вказано) у середовищі культивування продуцента валіноміцину *Streptomyces lavendulae* ACR-DA1 концентрація антибіотика збільшувалася на 34% порівняно з показниками у середовищі без індуктора.

Luti і Yonis (Luti, & Yonis, 2013) досліджували вплив на синтез феназину *Pseudomonas aeruginosa* (штам не вказано) живих та інактивованих клітин *S. Cerevisiae* (штам не вказано). Встановлено, що внесення у середовище культивування продуцента антибіотика живих клітин дріжджів (0,5 і 1%) супроводжувалося синтезом 12,2 і 14,46 мг/л феназину відповідно, що у 1,6 і 1,89 рази вище, ніж концентрація метаболіту, одержаного без індуктора. Додавання в середовище культивування *P. aeruginosa* інактивованих нагріванням клітин *S. cerevisiae* (0,5 і 1%) також привело до збільшення концентрації феназину в 2,6 і 3,19 рази відповідно порівняно з синтезом без дріжджових клітин (7,6 мг/л).

Інші вторинні метаболіти. У (Luti, Yonis & Mahmoud, 2018) встановлено, що в разі внесення живих клітин *S. cerevisiae* у середовище культивування *Serratia marcescens* (продуцент продигіозину) спостерігали збільшення концентрації цього пігменту у 1,5 і 2,4 рази порівняно з використанням як індуктора інактивованих клітин дріжджів і показниками синтезу без індуктора, відповідно.

У табл. 2 наведено узагальнену інформацію щодо синтезу вторинних метаболітів за наявності дріжджових індукторів у середовищі культивування бактеріальних продуцентів. Ці дані засвідчують, що внесення живих, інактивованих клітин або супернатанту після вирощування дріжджів є простим, але ефективним підходом для підвищення синтезу поверхнево-активних речовин та деяких анти-

біотиків. Разом з тим додавання індуктора не завжди супроводжувалося інтенсифікацією синтезу цільових продуктів. Крім того, утворення вторинних метаболітів часто залежало від фізіологічного стану дріжджових індукторів. Не можна також не звернути увагу на використання у більшості досліджень як індуктора клітин непатогенних дріжджів *S. cerevisiae*. У той же час з літератури відомо, що, зазвичай, максимальна інтенсифікація синтезу вторинних метаболітів з антимікробною активністю досягається за наявності в середовищі продуцента умовно патогенних чи патогенних мікроорганізмів (Sung, Gromek, & Balunas, 2017).

Таблиця 2. Вплив дріжджових індукторів на синтез поверхнево-активних речовин і антибіотиків

Продуцент	Індуктор	Фізіологічний стан індуктора	Цільовий продукт	Концентрація цільового продукту, синтезованого		Література
				без індуктора	за наявності індуктора	
<i>Bacillus subtilis</i> RLID 12.1	<i>Candida albicans</i> SC 5314	Інактивовані клітини	Ліпопептиди	AF ₃ : 920 мг/л; AF ₅ : 501 мг/л	AF ₃ : 1280 мг/л; AF ₅ : 960 мг/л	Ramchandran, Ramesh, Thakur, Chakrabarti, & Roy, 2020
<i>Streptomyces natalensis</i> HW-2	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> AS 2.2081	Живі клітини, супернатант	Натаміцин	0,639 г/л	0,639 г/л (живі клітини); 0,7 г/л (супернатант)	Wang, Yuan, Gu, & Shi, 2013
<i>Streptomyces natalus</i> N5	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Супернатант	Натаміцин	0,85 г/л	0,85 г/л	Shi, Tao, & Liu, 2017
<i>Streptomyces lavendulae</i> ACR-DA1	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Живі клітини	Валіномицин	50 мг/л	67 мг/л	Sharma та ін., 2017
<i>Streptomyces rimosus</i> M527	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> A3	Супернатант, живі та інактивовані клітини	Римоцидин	0,21—0,22 г/л	0,36 г/л (супернатант); 0,3 г/л (живі клітини); 0,24 г/л (інактивовані клітини)	Song, Ma, Bechthold & Yu, 2020
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Живі та інактивовані клітини	Феназин	7,6 мг/л	14,46 мг/л (живі клітини); 29,8 мг/л (інактивовані клітини)	Luti, & Yonis, 2013

Висновки

У пропонованому огляді ми узагальнили інформацію, наведену в працях щодо індукції синтезу мікробних вторинних метаболітів за використання стратегій спільного культивування бактеріальних штамів-продуцентів з дріжджами. Незважаючи на наявну натеper обмежену кількість таких праць, результати викладених у них досліджень підтверджують значення комбінованого культивування мікроорганізмів та/або використання біологічних індукторів як нового інструменту для підвищення синтезу практично цінних вторинних метаболітів, регуляції їх біологічної активності і навіть відкриття нових біологічно активних сполук.

Література

- Пирог, Т. П., Іванов, М. С., Ярова, Г. А. (2021). Антимікробна активність поверхнево-активних речовин *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-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., Парфенюк, М. А. (2023). Вплив конкурентних еукаріотичних мікроорганізмів на синтез та властивості вторинних метаболітів. Частина 1. Мікроміцети як регулятори синтезу та біологічної активності вторинних метаболітів. *Наукові праці НУХТ*, 29(3), 33—49. https://drive.google.com/file/d/1FMij5Z8QCEJji31X_9ej6_lPkz_1q3N4/view.
- 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. doi: 10.1111/lam.13169.
- Ariana, M., Hamed, J. (2017). Enhanced production of nisin by co-culture of *Lactococcus lactis* sub sp. *lactis* and *Yarrowia lipolytica* in molasses based medium. *Journal of Biotechnology*, 256, 21—26. doi: 10.1016/j.jbiotec.2017.07.009.
- Arora, D., Gupta, P., Jaglan, S., Roullier, C., Grovel, O., Bertrand, S. (2020). Expanding the chemical diversity through microorganisms co-culture: current status and outlook. *Biotechnology Advances*, 107521. doi:10.1016/j.biotechadv.2020.107521.
- Bai, S., Qiao, B., Hou, Z. J., Gao, G. R., Cao, C. Y., Cheng, J. S., Yuan, Y. J. (2023). Mutualistic microbial community of *Bacillus amyloliquefaciens* and recombinant *Yarrowia lipolytica* co-produced lipopeptides and fatty acids from food waste. *Chemosphere*, 310, 136864. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.136864.
- Balabekyan, T. R., Karapetyan, K. J., Khachatryan, T. V., Khachatryan, G. E., Tatikyan, S. S. (2018). Antimicrobial activity of preparations after combined cultivation of lactic acid bacteria and yeast strains. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(4), 933—938. doi: 10.1111/jpn.12891.
- Chen, X. Y., Sun, H. Z., Qiao, B., Miao, C. H., Hou, Z. J., Xu, S. J., ..., Cheng, J. S. (2022). Improved the lipopeptide production of *Bacillus amyloliquefaciens* HM618 under co-culture with the recombinant *Corynebacterium glutamicum* producing high-level proline. *Bioresource Technology*, 349:126863. doi: 10.1016/j.biortech.2022.126863.
- Ding, L., Guo, W., Chen, X. (2019). Exogenous addition of alkanolic acids enhanced production of antifungal lipopeptides in *Bacillus amyloliquefaciens* Pc3. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 5367—5377. doi: 10.1007/s00253-019-09792-1.
- Hoskisson, P. A., Seipke, R. F. (2020). Cryptic or silent? The known unknowns, unknown knowns, and unknown unknowns of secondary metabolism. *mBio*, 11(5). doi:10.1128/mBio.02642-20.
- 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.

- Luti, K. J., Yonis, R. W., Mahmoud, S. T. (2018). An application of solid state fermentation and elicitation with some microbial cells for the enhancement of prodigiosin production by *Serratia marcescens*. *Al-Nahrain Journal of Science*, 21(2), 98—105. doi: 10.22401/JNUS.21.2.15.
- Minami, H., Kim, J.-S., Ikezawa, N., Takemura, T., Katayama, T., Kumagai, H., Sato, F. (2008). Microbial production of plant benzylisoquinoline alkaloids. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(21), 7393—7398. doi:10.1073/pnas.0802981105.
- 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. doi: 10.1016/j.enzmictec.2020.109677.
- Priya, A., Mandal, A. K., Ball, A. S., Manefield, M., Lal, B., Sarma, P. M. (2015). Mass culture strategy for bacterial yeast co-culture for degradation of petroleum hydrocarbons in marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 100(1), 191—199. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.08.050.
- Qiao, W., Qiao, Y., Gao, G., Liao, Z., Wu, Z., Saris, P.E.J., ..., Qiao, M. A novel co-cultivation strategy to generate low-crystallinity bacterial cellulose and increase nisin yields. *International Journal of Biological Macromolecules*, 202:388—396. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.01.038.
- Ramchandran, R., Ramesh, S., Thakur, R., Chakrabarti, A., Roy, U. (2020). Improved production of two anti-*Candida* lipopeptide homologues co-produced by the wild-type *Bacillus subtilis* RLID 12.1 under optimized conditions. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 21(5), 438—450. doi: 10.2174/1389201020666191205115008.
- Robbins, N., Spitzer, M., Wang, W., Waglechner, N., Patel, D. J., O'Brien, J. S., ..., Wright, G. D. (2016). Discovery of ibomycin, a complex macrolactone that exerts antifungal activity by impeding endocytic trafficking and membrane function. *Cell Chemical Biology*, 23(11), 1383—1394. doi:10.1016/j.chembiol.2016.08.015.
- Rutledge, P.J., Challis, G. L. (2015). Discovery of microbial natural products by activation of silent biosynthetic gene clusters. *Nature Reviews Microbiology*, 13(8), 509—523. doi:10.1038/nrmicro3496.
- Sharma, R., Jamwal, V., Singh, V. P., Wazir, P., Awasthi, P., Singh, D., ..., Chaubey, A. (2017). Revelation and cloning of valinomycin synthetase genes in *Streptomyces lavendulae* ACR-DA1 and their expression analysis under different fermentation and elicitation conditions. *Journal of Biotechnology*, 253, 40—47. doi: 10.1016/j.jbiotec.2017.05.008.
- Shi, S., Tao, Y., Liu, W. (2017). Effects of fungi fermentation broth on natamycin production of *Streptomyces*. *Progress in Applied Microbiology*, 1(1). <https://ipindexing.com/journal-article-file/24360/Effectsoffungifermentationbrothonnatamycinproductionofstreptomyces/>.
- Song, Z., Ma, Z., Bechthold, A., Yu, X. (2020). Effects of addition of elicitors on rimocidin biosynthesis in *Streptomyces rimosus* M527. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104, 4445-4455. doi:10.1007/s00253-020-10565-4.
- Sung, A. A., Gromek, S. M., Balunas, M. J. (2017). Upregulation and identification of antibiotic activity of a marine-derived *Streptomyces* sp. via co-cultures with human pathogens. *Marine Drugs*, 15(8):250. doi:10.3390/md15080250/.
- Tan, Z. Q., Leow, H. Y., Lee, D. C. W., Karisnan, K., Song, A. A. L., Mai, C. W., ..., Lai, K. S. (2019). Co-culture systems for the production of secondary metabolites: Current and future prospects. *The Open Biotechnology Journal*, 13(1), 18—26. doi: 10.2174/1874070701913010018.
- Tomm, H. A., Ucciferri, L., Ross, A. C. (2019). Advances in microbial culturing conditions to activate silent biosynthetic gene clusters for novel metabolite production. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. doi:10.1007/s10295-019-02198-v.
- Wang, X. F., Miao, C. H., Qiao, B., Xu, S. J., Cheng, J. S. (2022). Co-culture of *Bacillus amyloliquefaciens* and recombinant *Pichia pastoris* for utilizing kitchen waste to produce fengycins. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 133(6), 560—566. doi: 10.1016/j.jbiosc.2022.02.009.
- Wang, D., Yuan, J., Gu, S., Shi, Q. (2013). Influence of fungal elicitors on biosynthesis of natamycin by *Streptomyces natalensis* HW-2. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97, 5527—5534. doi: 10.1007/s00253-013-4786-0.

Zhang, W., Liu, H., Li, X., Liu, D., Dong, X. T., Li, F. F., ..., Yuan, Y. J. (2017). Production of naringenin from D-xylose with co-culture of *E. coli* and *S. cerevisiae*. *Engineering in Life Sciences*, 17(9), 1021—1029. doi: 10.1002/elsc.201700039.

Zhou, K., Qiao, K., Edgar, S., Stephanopoulos, G. (2015). Distributing a metabolic pathway among a microbial consortium enhances production of natural products. *Nature Biotechnology*, 33(4), 377—383. doi:10.1038/nbt.3095.

BIOSYNTHESIS OF NOBLE METAL NANOPARTICLES. PART 2. USE OF CYANOBACTERIA AND ALGAE

O. Skrotska, V. Marchenko, R. Koval

National University of Food Technologies

Key words:

Nanoparticles
Noble metals
Biosynthesis
Cyanobacteria
Algae

Article history:

Received 13.07.2023
Received in revised form
28.07.2023
Accepted 14.08.2023

Corresponding author:

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

Citation: O. I. Скроцька, В. В. Марченко, Р. В. Коваль (2023). Біосинтез наночастинок благородних металів. Частина 2. Використання ціанобактерій і водоростей. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 61—85.
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-7

ABSTRACT

The possibilities of using cyanobacteria and algae for the biosynthesis of gold (AuNPs), silver (AgNPs), platinum (PtNPs), palladium (PdNPs), and ruthenium (RuNPs) nanoparticles were characterized in the article.

Cell-free aqueous extract of cyanobacteria, biomass, culture liquid, supernatant, as well as cellular pigments (phycocyanin, phycoerythrin, allophycocyanin) and polysaccharides are used for the biosynthesis of nanoparticles. Various research showed the possibility of biosynthesis of noble metal nanoparticles using cyanobacteria of the genus *Anabaena*, *Cyanothece*, *Desertifilum*, *Lyngbya*, *Nostoc*, *Plectonema*, *Spirulina*, *Synechocystis*, *Trichodesmium* and others. They can be synthesized using bacterial metabolites — proteins, enzymes, polysaccharides. It was shown that aromatic compounds, alkanes, amines and amides, as well as phenolic compounds can participate in the reduction of metal ions and the biosynthesis of nanoparticles, as well as in their stabilization.

Freshwater and marine algae can be used for the biosynthesis of noble metal nanoparticles. *Acutodesmus dimorphus*, *Botryococcus braunii*, *Chlorella vulgaris*, *Caulerpa racemosa*, *Dunaliella salina*, *Sargassum muticum* are among them. At the same time, algae extracts, which contain polysaccharides, phenolic compounds, proteins, vitamins, carotenoids, astaxanthins, polyols, terpenoids and sterols were used. The active groups of these compounds are responsible for the recovery, biosynthesis and stabilization of nanoparticles.

Nanoparticles synthesized using cyanobacteria and algae have antibacterial activity against both gram-negative and gram-positive bacteria. The mechanism of their antimicrobial action is that they can denature surface bacterial proteins and block cellular metabolism and respiration processes due to damage to the electron transport system. The antitumor effect of biogenic nanoparticles using different lines of transplanted cancer cells was shown. At the same time, their non-toxicity in relation to normal cell lines has been proven. The antitumor effect of biosynthesized nanoparticles is related to the fact that they cause cellular and subcellular morphological changes, increase oxidative stress and metabolic toxicity, and induce apoptosis of cancer cells by reducing the expression of antiapoptotic proteins and increasing the expression of apoptotic proteins.

БІОСИНТЕЗ НАНОЧАСТИНОК БЛАГОРОДНИХ МЕТАЛІВ. ЧАСТИНА 2. ВИКОРИСТАННЯ ЦІАНОБАКТЕРІЙ І ВОДОРОСТЕЙ

О. І. Скроцька, В. В. Марченко, Р. В. Коваль

Національний університет харчових технологій

Наночастинки благородних металів можна отримати з використанням різних методів — фізичних, хімічних і біологічних. У статті охарактеризовано можливості використання ціанобактерій і водоростей для біосинтезу наночастинок золота (AuNPs), срібла (AgNPs), платини (PtNPs), паладію (PdNPs) та рутенію (RuNPs).

Для біосинтезу наночастинок використовують безклітинний водний екстракт ціанобактерій, біомасу, культуральну рідину, супернатант, а також клітинні пігменти (фікоціанін, фікоеритрин, алофікоціанін) та полісахариди. Різними авторами показано можливість біосинтезу наночастинок благородних металів з використанням ціанобактерій роду *Anabaena*, *Cyanothece*, *Desertifilum*, *Lyngbya*, *Nostoc*, *Plectonema*, *Spirulina*, *Synechocystis*, *Trichodesmium* та інших. При цьому можливий як внутрішньоклітинний, так і позаклітинний біосинтез наночастинок, які можуть синтезуватись з використанням бактеріальних метаболітів — білків, ферментів, полісахаридів. Показано, що ароматичні сполуки, алкани, аміни та амідні, а також фенольні сполуки можуть брати участь у відновленні іонів металів і біосинтезі наночастинок, а також у їх стабілізації.

Прісноводні та морські водорості можна використовувати для біосинтезу наночастинок благородних металів. Серед них *Acutodesmus dimorphus*, *Botryococcus braunii*, *Chlorella vulgaris*, *Caulerpa racemosa*, *Dunaliella salina*, *Sargassum muticum* та інші. При цьому використовують екстракти водоростей, які містять полісахариди, фенольні сполуки, білки, вітаміни, каротиноїди, атаксантини, поліоли, терпеноїди та стерини. Активні групи цих сполук відповідають за відновлення, біосинтез і стабілізацію наночастинок.

Синтезовані з використанням ціанобактерій і водоростей наночастинки мають антибактеріальну активність щодо грамнегативних і грампозитивних бактерій. Механізм їх антимікробної дії полягає в тому, що вони можуть денатурувати поверхневі бактеріальні білки та блокувати клітинний метаболізм і процеси дихання через пошкодження системи транспорту електронів. Також наночастинки інгібують трансляцію бактеріальних білків. Показано протипухлинну дію біогенних наночастинок з використанням різних ліній перещеплюваних ракових клітин. При цьому доведено їх нетоксичність щодо нормальних ліній клітин. Протипухлинна дія біосинтезованих наночастинок пов'язана з тим, що вони викликають клітинні та субклітинні морфологічні зміни, посилюють окислювальний стрес і метаболічну токсичність та індукують апоптоз ракових клітин через зниження експресії антиапоптичних білків і підвищення експресії апоптичних білків.

Ключові слова: наночастинки, благородні метали, біосинтез, ціанобактерії, водорості.

Постановка проблеми. Наночастинки благородних металів (золото, срібло, платина, паладій) привертають увагу науковців завдяки своїм унікальним фізико-хімічним і біологічним властивостям, тому активно досліджуються різні методи їх синтезу — фізичні, хімічні та біологічні. Кожен із цих методів має свої переваги й недоліки (Jamkhande, Ghule, Bamer, & Kalaskar, 2019). При цьому, враховуючи екологічність, біологічні методи синтезу наночастинок є альтернативою хімічним і фізичним методам. При виборі біологічного методу синтезу можливим є використання бактерій, міцеліальних грибів, дріжджів, водоростей, рослин, а також їх метаболітів. Залежно від вибору біологічного об'єкта, його умов культивування, а також параметрів біосинтезу можуть формуватися наночастинки різного розміру та форми, що впливатиме на їхні подальші біологічні властивості та можливість використання у різних галузях (Pareek, 2017; Saravanan, 2021).

Упродовж останніх років активно досліджуються різні способи біосинтезу металевих наночастинок, оскільки вони мають антибактеріальну, протигрибкову, антивірусну, протиракову та каталітичну активність, а також магнітні й оптичні властивості. Однією з найбільш важливих властивостей металевих наночастинок є їхнє велике відношення площі поверхні до об'єму, що збільшує взаємодію наночастинок з іншими молекулами. Враховуючи властивості, якими характеризуються наночастинки благородних металів, можливості їх застосування є досить широкими. Зокрема, їх використовують при створенні електронного обладнання, при розробці біохімічних датчиків, як каталізatori у різних хімічних реакціях, для візуалізації пухлин і доставки ліків, як антимікробні та протипухлинні засобів, у пакувальних матеріалах для запобігання розвитку патогенних мікроорганізмів у харчових продуктах, для біоремедіації ґрунтів тощо (Khan, Saeed, & Khan, 2019).

У попередньому огляді (Скроцька, & Марченко, 2023) ми навели інформацію про використання грибів, дріжджів і бактерій для біосинтезу наночастинок благородних металів, **метою** пропонованого **огляду** є аналіз наукових публікацій щодо можливостей використання ціанобактерій і водоростей для біосинтезу вказаних металевих наночастинок.

Матеріали і методи. При написанні огляду були використані сучасні наукові публікації зарубіжних вчених у міжнародних виданнях. Проаналізовані статті стосуються використання ціанобактерій та морських і прісноводних водоростей для біосинтезу наночастинок благородних металів. Пошук наукових публікацій здійснювали з використанням світових наукометричних баз даних PubMed та Google Scholar.

Викладення основних результатів дослідження. Ціанобактерії для біосинтезу наночастинок. Ціанобактерії отримують необхідну енергію через фотосинтез. Раніше їх називали синьо-зеленими водоростями, але ця назва є невірною, оскільки водорості — це еукаріотичні організми на відміну від бактерій, які є прокаріотами. Для біосинтезу наночастинок золота (AuNPs), срібла (AgNPs), платини (PtNPs) та паладію (PdNPs) використовують безклітинний водний екстракт ціанобактерій (Tomer, 2019; Singh, 2020; Mandhata, 2021; Zaki, 2022), біомасу (Younis, 2022; Fritz, 2023), культуральну рідину (Mohamed, El Semary, & Younis, 2022), супернатант (Patel, 2015; Hanna, 2022), а також клітинні пігменти (El-Naggar, 2017; Ismail, 2021) та полісахариди (El-Hadya, 2014; El-Deeb, 2022). Одним із недоліків використання ціанобактерій для біосинтезу наночастинок є їх досить

тривалий термін культивування — від 13 до 28 діб (Brayner, 2007; El-Naggar, 2017; Named, 2019; Hamida, 2020; Ahamad, 2021). Розглянемо можливості використання ціанобактерій для біосинтезу наночастинок благородних металів.

AuNPs. Uma Suganya зі співавтор. для біосинтезу наночастинок золота використали безклітинний водний екстракт *Spirulina platensis*. Було встановлено антибактеріальну активність біогенних AuNPs щодо грампозитивних бактерій (табл. 1). При цьому наночастинок призводили до деформації клітинної стінки бактерій і руйнування їх цитоплазматичної мембрани (Uma Suganya та ін., 2015). Іншими дослідниками показано можливість біосинтезу AuNPs з використанням безклітинного водного екстракту азотфіксуючих ціанобактерій *Anabaena spiroides*. Наночастинок проявили антимікробну дію щодо мультирезистентних грампозитивних і грамнегативних бактерій (Mandhata, Sahoo, Mahanta, & Padhy, 2021).

Досліджено синтез AuNPs з використанням біомаси ниткоподібних ціанобактерій *Lyngbya majuscula* (Bakir, Younis, Mohamed, & El Semaary, 2018), *Anabaena* sp. (Fritz та ін., 2023) та азотфіксуючих кокових ціанобактерій *Cyanothece* sp. (Younis, Bakir, Mohamed, & El Semaary, 2019). При цьому наночастинок синтезувались як всередині клітин, так і зовні. Наприклад, при використанні *L. Majuscula* спостерігали внутрішньоклітинний синтез AuNPs при 48 год біосинтезу та позаклітинний біосинтез після двох місяців біосинтезу (Bakir, Younis, Mohamed, & El Semaary, 2018). Показано можливість біосинтезу наночастинок золота з використанням живих та інактивованих клітин *Anabaena laxa*. Ціанобактерії інактивували автоклавуванням при 126 °C або заморожуванням при мінус 23 °C. При цьому AuNPs після 24 год біосинтезу були у поживному середовищі, а не в самих клітинах, що спрощує їх виділення та очистку (Lenartowicz, Marek, Madura, & Lipok, 2017).

Також AuNPs можна отримати з використанням екзополісахаридів, що були виділені з грамнегативних ціанобактерій *Arthospira platensis* з використанням методу термічного відновлення (El-Deeb та ін., 2022).

Щодо механізмів біосинтезу наночастинок золота з використанням ціанобактерій, то на сьогодні запропоновані різні гіпотези. Зокрема, AuNPs можуть синтезуватись за допомогою метаболітів ціанобактерій. Так білки, а саме їх -COOH, -OH і -NH групи беруть участь у відновленні іонів Au^{3+} до Au^0 , а також стабілізують наночастинок золота (Uma, 2015; Mandhata, 2021). Екзополісахариди, зокрема їх OH-групи сприяють відновленню іонів золота та формуванню наночастинок (Lenartowicz, 2017; El-Deeb, 2022). Також сульфатований ендегенний полісахарид глікоген бере участь у біосинтезі та стабілізації внутрішньоклітинних AuNPs (Younis, Bakir, Mohamed, & El Semaary, 2019). Іншим можливим механізмом може бути те, що електростатичні взаємодії змушують іони золота прикріплюватися до поверхні клітинної стінки ціанобактерій, що призводить до ферментативного відновлення іонів золота, їх агрегації та формування наночастинок (Lengke та ін. 2006).

AgNPs. Досліджено біосинтез наночастинок срібла з використанням біомаси та супернатанту культуральної рідини різних ціанобактерій — *Anabaena* sp. 66-2, *Cylindrospermopsis* sp. USC CRB3, *Lyngbya* sp. 15-2, *Limnothrix* sp. 37-2-1, *Syne-*

chocystis sp. 48-3, *Synechococcus* sp. 145-6 (табл. 1). При цьому AgNPs синтезувались на поверхні бактерій (Patel, Berthold, Puranik, & Gantar, 2015). Younis зі співавтор. також показали можливість біосинтезу наночастинок срібла з використанням біомаси ціанобактерій *Synechocystis* sp., які були виділені з узбережжя Перської затоки у східному регіоні Саудівської Аравії. Біосинтезовані AgNPs знижували синтез прозапальних цитокінів — фактора некрозу пухлин (TNF- α) та інтерлейкінів (IL-1 β , IL-6) у хворих на діабет експериментальних тварин (Younis, Mohamed, & El Semaary, 2022).

Синтез AgNPs з використанням культуральної рідини *Cyanothece* sp. Дослідили Mohamed з колегами. При цьому 56% іонів Ag⁺ відновлювались до Ag⁰ через 72 год біосинтезу. Автори дослідили вплив фітогормонів на біосинтез AgNPs. Додавання у культуральну рідину *Cyanothece* sp. індолоцтової кислоти та кінетину призводило до біоредукції Ag⁺ на рівні 87 та 55% відповідно та формування наночастинок. Гіберелова та абсцизова кислоти не підвищували відсоток відновлених іонів срібла. Найбільший відсоток біоредукції срібла спостерігали при додаванні метилжасмонату, але при цьому ціанобактерії наприкінці процесу біосинтезу втрачали життєздатність (Mohamed, El Semaary, & Younis, 2022).

Є повідомлення про біосинтез наночастинок срібла з використанням супернатанту *Desertifilum tharense* AM5E. Ціанобактерії були виділені з ґрунту. Також авторами показано можливість синтезу AgNPs за допомогою внутрішньоклітинних метаболітів *D. tharense* AM5E (Hanna та ін., 2022).

У науковій літературі є публікації, що стосуються синтезу AgNPs з використанням пігментів ціанобактерій. Так, досліджено біосинтез наночастинок срібла з використанням фікоціаніну, що був виділений із *Limnothrix* sp. 37-2-1 (Patel, Berthold, Puranik, & Gantar, 2015) та ґрунтових ціанобактерій *Nostoc linckia* (El-Naggar, Hussein, & El-Sawah, 2017). Фікоціанін є допоміжним фотосинтетичним пігментом синього кольору, що складається з двох поліпептидних ланцюгів і входить до складу фікобілісом. Ці структури прикріплені до тилакоїдів, які беруть участь у збиранні світла та перенесенні електронів до реакційних центрів фотосистеми II (Patel, Berthold, Puranik, & Gantar, 2015). Також показаний біосинтез наночастинок срібла за допомогою фотосинтетичних пігментів фікобіліпротейнів, до яких відносять фікоціанін, фікоеритрин та алофікоціанін. Фікобіліпротейни, які використали для біосинтезу AgNPs були виділені з ціанобактерій *Spirulina platensis* та *Nostoc linckia*. Слід зазначити, що біосинтезовані з використанням цих пігментів наночастинок срібла мали широкий спектр біологічної дії — антиоксидантну, антибактеріальну, антигрибкову, протипухлинну та протівірусну активність (Ismail, El-Sheekh, Samy, & Gheda, 2021).

Також наночастинок срібла можна отримати з використанням безклітинного водного екстракту ціанобактерій, наприклад, *Leptolyngbya* JSC-1 (Zada та ін., 2018), *Trichodesmium erythraeum* (Sathishkumar та ін., 2019), *Nostoc Bahar M* (Hamida, Albasher, & Bin-Meferij, 2020), *Anabaena variabilis* (Ahamad, Aziz, Zaki, & Fatma, 2021). Tomer зі співавтор. дослідили біосинтез AgNPs з використанням безклітинного водного екстракту *Haloleptolyngbya alcalis* KR2005/106. Автори показали можливість використання розчину AgNPs для швидкого визначення розчинного у воді аміаку. Колір розчину наночастинок змінювався з коричневого на

жовтий упродовж кількох секунд після додавання аміаку, що говорить про формування комплексу срібла з аміаком. При цьому спостерігали зміщення піку поглинання розчину в бік синього діапазону спектра (Tomer, Rahi, Neelam, & Dadheech, 2019).

Біосинтез AgNPs з використанням безклітинного водного екстракту *Nostoc* sp. PCC7524 дослідили Hamed зі співавтор. Біосинтезовані наночастинки срібла проявили протинематодну активність щодо *Meloidogyne javanica* у дослідях *in vitro* та *in vivo*. При цьому AgNPs не мали токсичного впливу на ріс бобових рослин, які були заражені цими нематодами, а навпаки, покращували їх ростові характеристики (Hamed, Hagag, & El-Raouf, 2019).

Наночастинки срібла, які були синтезовані з використанням безклітинного водного екстракту *Leptolyngbya* sp. WUC 59, покращували проростання пшениці та стимулювали ріст проростків порівняно з контролем. Автори припускають, що AgNPs взаємодіють із клітинною стінкою насінневої оболонки та проникають всередину, утворюючи пори, які збільшують ефективність поглинання води зернами пшениці. У свою чергу це може стимулювати більш високу метаболічну активність і гідроліз крохмалю, а отже, утворюється велика кількість доступного цукру в зернах, необхідного для підтримки початкового росту проростків пшениці (Singh, Kaushal, & Sodhi, 2020).

Показано біосинтез AgNPs з використанням безклітинного водного екстракту *Plectonema* sp. NCCU 204. У біосинтезованих наночастинок були виявлені різні біологічні властивості. Вони мали антибактеріальну активність як до грамнегативних, так і грампозитивних бактерій, а також проявили синергічну антимікробну дію разом із антибіотиком стрептоміцином і протигрибковим препаратом флуконазолом. Також ці AgNPs проявили антиоксидантну активність. Як відомо, під час життєдіяльності клітини у ній формуються вільні радикали, які відіграють важливу роль у передачі клітинних сигналів. Проте їх надлишок призводить до різних негативних наслідків і загибелі клітини. Вільні радикали реагують з клітинними компонентами, які викликають рак, катаракту, серцево-судинні захворювання, дисфункцію органів, тому пошук сполук, які проявляють антиоксидантну активність є актуальним і нині. Доведено нетоксичність AgNPs щодо нормальних клітин, зокрема підтверджено їх біосумісність при використанні лінії клітин РВМС (мононуклеарні клітини периферичної крові). Цікавим є те, що видалення білкової оболонки з поверхні наночастинок, призводило до зниження їх біологічної активності (Zaki та ін., 2022).

Hamida зі співавтор. дослідили біосинтез наночастинок срібла з використанням безклітинного водного екстракту ґрунтових ціанобактерій *Desertifilum* IPPAS B-1220. AgNPs характеризувались антибактеріальною дією як до грамнегативних, так і грампозитивних бактерій, а також показали протипухлинну активність (Hamida, Abdelmeguid, Ali, Bin-Meferij & Khalil, 2020). Також біогенні AgNPs характеризувались високою антибактеріальною та антибіоплівковою активністю щодо метицилін-резистентних стафілококів. Це пояснюється тим, що AgNPs індукують утворення активних форм кисню, які в подальшому окислюють нуклеїнові кислоти, ферменти і білки, що призводить до загибелі бактерій (Hamida, Ali, Goda, Khalil, & Al-Zaban, 2020).

Наночастинки срібла, які були отримані з використанням ціанобактерій мають протипухлинну й антимікробну активність (табл. 1). Одним із можливих механізмів протиракової дії AgNPs може бути те, що наночастинки викликають клітинні та субклітинні морфологічні зміни, посилюють окислювальний стрес і метаболічну токсичність та індукують апоптоз ракових клітин через зниження експресії антиапоптичних білків — протеїнкінази В (Akt), фосфорильованої протеїнкінази В (p-Akt), протеїнкінази серин-треонінової специфічності (mTOR), В клітинної лімфоми 2 (Bcl-2) та підвищення експресії апоптичних білків — пухлинного супресора (p53) і каспази-3. Під дією AgNPs у пухлинних клітинах збільшується кількість пероксисом, зростає активність глутатіонпероксидази та понижуються рівні глутатіону. Це, у свою чергу, призводить до зростання рівнів активних форм кисню й окислювального стресу. AgNPs також спричинюють метаболічний стрес у клітинах через зниження рівнів аденозинтрифосфатази (Hamida, Albasher, & Bin-Meferij, 2020). Показано, що наночастинки срібла мають низьку цитотоксичність щодо нормальних клітин. При цьому вони можуть проникати у цитоплазму ракових клітин, що пов'язано з особливостями будови їх цитоплазматичної мембрани та менш компактною клітинною архітектурою (Zada та ін., 2018). Після проникнення в пухлинну клітину AgNPs відбувається вивільнення іонів срібла, які починають взаємодіяти з внутрішньоклітинними білками та ДНК, що призводить до їх руйнування і клітина гине (El-Naggar, Hussein, & El-Sawah, 2017).

Також є різні повідомлення щодо механізмів антимікробної дії наночастинок срібла. Як і в дослідженнях з наночастинок золота (Uma Suganya та ін., 2015), AgNPs призводять до формування проломів у клітинних стінках бактерій і руйнування клітинної мембрани (Zada та ін., 2018). Наночастинки срібла можуть денатурувати поверхневі клітинні білки та блокувати клітинний метаболізм і процеси дихання за рахунок пошкодження системи транспорту електронів (Nisar, Ali, Rahman, Ali, & Shinwari, 2019). Показано, що AgNPs індукують утворення активних форм кисню та інактивують фермент дегідрогеназу (Quinteros, Ariztizabal, Dalmaso, Paraje, & Paez, 2016). Також наночастинки срібла інгібують трансляцію білка в клітині за рахунок взаємодії з бактеріальними рибосомами, що призводить до їх денатурації (Qing та ін., 2018).

Щодо механізмів біосинтезу AgNPs з використанням ціанобактерій, то показано, що ароматичні сполуки, алкани, аміни та амідні групи можуть брати участь у відновленні іонів срібла та біосинтезі наночастинок, а також у їх стабілізації (Mohamed, 2022; Younis, 2022). Є повідомлення, що ферменти та білки, а саме їх гідроксильні, карбонільні, карбоксильні та амідні групи відіграють важливу роль у відновленні іонів срібла та формуванні і стабілізації наночастинок (Hamed, 2019; Ahamad, 2021; Zaki, 2022). Також у біосинтезі AgNPs, крім білків, беруть участь полісахариди (Hamida, 2020; Hanna, 2022), пігменти ціанобактерій (Patel, 2015; El-Naggar, 2017; Ismail, 2021) та фенольні сполуки (Tomer, Rahi, Neelam, & Dadheech, 2019).

PtNPs. На сьогодні в науковій літературі майже відсутня інформація про використання ціанобактерій для біосинтезу наночастинок платини. Нам вдалось знайти лише дві публікації (табл. 1), що стосуються цих досліджень (Lengke, 2006;

Brayner, 2007). Так, досліджено біосинтез PtNPs з використанням біомаси *Plectoneta boryanum* UTEX 485. При цьому автори проводили дослідження без доступу світла і при різних значеннях температури: 25, 60, 80, 100 °C (28 діб) та при 180 °C (1 доба). Встановлено, що іони платини Pt^{4+} проникають всередину клітини і там відновлюються до Pt^{2+} , а потім до Pt^0 . При цьому самі клітини не були життєздатними через високі температурні режими біосинтезу та додавання хлориду платини для біосинтезу наночастинок (Lengke, Fleet, & Southam, 2006).

Показано внутрішньоклітинний синтез наночастинок платини при використанні ціанобактерій *Calothrix pulvinata* ALCP 745A (табл. 1). При цьому синтезовані в середині клітини PtNPs виходять назовні, що спрощує їх виділення та очистку. Було встановлено, що ці наночастинок стабілізуються полісахаридами ціанобактерій. Автори показали, що можливим є і безклітинний біосинтез PtNPs з використанням нітрогенази та полісахаридів ціанобактерій. При цьому не спостерігали синтезу наночастинок, якщо у реакційній суміші була відсутня нітрогеназа. Слід наголосити, що автори також дослідили біосинтез ціанобактеріями наночастинок і інших благородних металів, зокрема золота, срібла і паладію (Brayner та ін., 2007).

PdNPs. Щодо біосинтезу наночастинок паладію, то на сьогодні також є лише поодинокі повідомлення про використання для цього ціанобактерій. Так, Lengke зі співавтор., працюючи із *P. boryanum* UTEX 485 (табл. 1), крім біосинтезу наночастинок платини, дослідили позаклітинний синтез наночастинок паладію при використанні біомаси даних бактерій. При цьому автори досліджували різні температурні параметри біосинтезу: 25, 60 і 100 °C. За усіх досліджуваних температур наночастинок формувались на поверхні клітин (Lengke, Fleet, & Southam, 2007). Досліджено синтез PdNPs з використанням безклітинного водного екстракту грамнегативних ціанобактерій *Spirulina platensis*. Автори показали можливість використання наночастинок для адсорбції свинцю із водних розчинів (Sayadi, Salmani, Heidari, & Rezaei, 2018). Для біосинтезу наночастинок паладію також можна використовувати й екзогенні полісахариди *Nostoc commune*. При такому способі синтезу PdNPs зберігають свою стабільність упродовж 90 діб (El-Hadya, Morsy, & Yakout, 2014).

Таблиця 1. Біосинтез наночастинок благородних металів з використанням ціанобактерій

Ціанобактерії	Характеристика наночастинок		Біологічні властивості наночастинок	Джерело
	форма, розміри	параметри біосинтезу		
AuNPs				
<i>Spirulina platensis</i>	Сферичні, 2—8 нм	22—25 °C (кімнатна), 48 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacillus subtilis</i>	Uma Suganya та ін., 2015
<i>Anabaena laxa</i>	Сферичні, 3—5 нм	23 °C, 24 год	*	Lenartowicz, Marek, Madura, & Lipok, 2017

<i>Arthospora platensis</i>	Сферичні, 9—30 нм	100 °C, 30 хв	Антимікробна активність щодо <i>Escherichia coli</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>Candida tropicalis</i> , <i>Salmonella enterica</i> , <i>Streptococcus mutans</i> ; протипухлинна активність щодо клітин A549 (аденокарцинома легень), CaCo-2 (колоноректальна аденокарцинома) та MCF-7 (аденокарцинома молочної залози)	El-Deeb та ін., 2022
<i>Anabaena</i> sp.	Сферичні, 10—50 нм	22—25 °C (кімнатна), 24 год	*	Fritz та ін., 2023
<i>Lynqbya majuscula</i>	Сферичні, середній діаметр 42 нм	22—25 °C (кімнатна), 24 год	Антиоксидантна активність; протинфарктна дія	Bakir, Younis, Mohamed, & El Semary, 2018
<i>Anabaena spiroides</i>	Сферичні, середній діаметр <80 нм	22—25 °C (кімнатна), 24—56 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Klebsiella oxytoca</i> , <i>Streptococcus pyogenes</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>	Mandhata, Sahoo, Mahanta, & Padhy, 2021
<i>Cyanothece</i> sp.	Сферичні, 80 нм	22—25 °C (кімнатна), 24 год	Антиоксидантна активність; протинфарктна дія	Younis, Bakir, Mohamed, & El Semary, 2019
AgNPs				
<i>Plectonema</i> sp. NCCU 204	Сферичні, 2—30 нм	30 °C, 72 год	Протипухлинна активність щодо клітин A549 (карцинома легень); антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i> MCC2412, <i>Bacillus cereus</i> MCC 2243, <i>Staphylococcus aureus</i> MCC 2408, <i>Klebsiella pneumoniae</i> KJ 938546; протикандидозна активність щодо <i>Candida albicans</i> MCC-1151, <i>Candida glabrata</i> MCC-1432; антиоксидантна активність; протизапальна активність	Zaki та ін., 2022
<i>Desertifilum</i> IPPAS B-1220	Сферичні, 4,5—26 нм	22—25 °C (кімнатна), 24 год	Протипухлинна активність щодо MCF-7 (аденокарцинома молочної залози), CaCo-2 (колоноректальна аденокарцинома), HepG2 (рак печінки); антибактеріальна активність щодо <i>Bacillus cereus</i> ATCC 10876, <i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6633, <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853, клінічних ізолятів <i>Shigella flexneri</i> та <i>Salmonella enterica</i>	Hamida, Abdelmeguid, Ali, Bin-Meferij, & Khalil, 2020

<i>Leptolyngbya</i> JSC-1	Сферичні, 5—50 нм	22—25 °C (кімнатна), 100 хв	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> ; протипухлинна активність щодо клітин HeLa (рак шийки матки)	Zada та ін., 2018
<i>Desertifilum</i> <i>tharensis</i> AM5E	Сферичні, 6—11 нм	30 °C, 48 год	Антиоксидантна активність; антибактеріальна активність щодо <i>Bacillus cereus</i> ATCC 10876, <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 43300, <i>Micrococcus luteus</i> ATCC 10240, <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 9027, <i>Salmonella</i> <i>typhimurium</i> ATCC 14028, <i>Escherichia coli</i> O157 : H7	Hanna та ін., 2022
<i>Nostoc</i> sp. PCC7524	Сферичні, 6—16 нм	121 °C, 5 хв	Нематоцидна активність щодо <i>Meloidogyne javanica</i> ; активація росту бобових рослин	Hamed, Hagag, & El- Raouf, 2019
<i>Nostoc</i> Bahar M	Сферичні, 8,5—26 нм	22—25 °C (кімнатна), 24 год	<i>Протипухлинна активність щодо</i> MCF-7 (аденокарцинома молочної залози), HepG2 (рак печінки), HCT-116 (колоректальна аденокарцинома)	(Hamida, Albasher, & Bin-Meferij, 2020)
<i>Nostoc linckia</i>	Сферичні, 9—25 нм	22—25 °C (кімнатна), 24 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella</i> <i>pneumoniae</i> ; протипухлинна активність <i>in vitro</i> щодо клітин MCF-7 (аденокарцинома молочної залози) та <i>in vivo</i> щодо асцитної карциноми Ерліха; низька активність щодо гемолізу еритроцитів	El-Naggar, Hussein, & El-Sawah, 2017
<i>Anabaena</i> <i>variabilis</i>	Сферичні, 10—15 нм	30 °C, 72 год	Протикандидозна активність щодо <i>Candida albicans</i> MCC-1151, <i>Candida glabrata</i> MCC-1432; антибактеріальна активність щодо <i>Pseudomonas aeruginosa</i> MTCC- 2453, <i>Klebsiella pneumoniae</i> KJ938546, <i>Escherichia coli</i> MCC- 2412, <i>Bacillus cereus</i> MCC-2243; антиоксидантна активність; синергізм дії з антибіотиками та протигрибковими препаратами	Ahamad, Aziz, Zaki, & Fatma, 2021
<i>Synechocystis</i> sp.	Сферичні, 10—35 нм	28 °C, 24 год	Ранозагоювальні властивості; антибактеріальна активність щодо резистентних до метициліну бактерій <i>Staphylococcus aureus</i> ; антиоксидантна активність; протизапальна активність	Younis, Mohamed, & El Semary, 2022

<i>Spirulina platensis</i>	Сферичні, 15—27 нм	22—25 °C (кімнатна), 24 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Proteus vulgaris</i> <i>Diplococci</i> sp., <i>Staphylococcus aureus</i> ; протикандидозна активність щодо <i>Candida albicans</i> ; антиоксидантна активність; протиухлинна активність щодо НерG2 (рак печінки); протівірусна активність щодо вірусу гепатиту С (HCV)	Ismail, El-Sheekh, Samy, & Gheda, 2021
<i>Nostoc linckia</i>	Сферичні, 16—26 нм	22—25 °C (кімнатна), 96 год		
<i>Leptolyngbya</i> sp. WUC 59	Сферичні, 20—35 нм	70 °C, 15 хв	Антибактеріальна активність щодо <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Escherichia coli</i> ; підвищують схожість і проростання зерен пшениці	Singh, Kaushal, & Sodhi, 2020
<i>Haloleptolyngbya alcalis</i> KR2005/106	Сферичні, 30—40 нм	30 °C, 36 год	*	Tomer, Rahi, Neelam, & Dadheech, 2019
<i>Cyanothece</i> sp.	Сферичні, 70—140 нм	22—25 °C (кімнатна), 72 год	*	Mohamed, El Semary, & Younis, 2022
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Кубічні, 21—27 нм	22—25 °C (кімнатна), 24 год	Антиоксидантна активність; антибактеріальна активність щодо клінічних штамів <i>Vibrio cholerae</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Proteus mirabilis</i> та антибіотикорезистентних штамів <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Streptococcus pneumoniae</i> ; протиухлинна активність щодо MCF-7 (аденокарцинома молочної залози), HeLa (рак шийки матки)	Sathishkumar та ін., 2019
<i>Anabaena</i> sp. 66-2	Різної форми, середній діаметр 24 нм	25 °C, 72 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Bacillus megaterium</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Micrococcus luteus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>	Patel, Berthold, Puranik, & Gantar, 2015
PtNPs				
<i>Calothrix pulvinata</i> ALCP 745A	Сферичні, 3,2 нм	25 °C, 15 діб	*	Brayner та ін., 2007
<i>Plectonema boryanum</i> UTEX 485	Сферичні, 30 нм — 0,3 мкм	25 °C, 28 діб	*	Lengke, Fleet, & Southam, 2006
PdNPs				
<i>Plectonema boryanum</i> UTEX 485	Сферичні, 1-20 нм	60 °C, 28 діб	*	Lengke, Fleet, & Southam, 2007

<i>Nostoc commune</i>	Сферичні, 5—15 нм	100 °С, 10 хв	*	El-Hadya, Morsyc, & Yakoutd, 2014
<i>Spirulina platensis</i>	Сферичні, 10—20 нм	70 °С, 20 хв	*	Sayadi, Salmani, Heidari, & Rezaei, 2018

Примітка: * — автори не досліджували біологічну активність наночастинок.

Використання водоростей. До водоростей належать багато видів багатоклітинних фотосинтезуючих еукаріотичних організмів, які у своєму складі містять полісахариди, ліпіди та жирні кислоти, білки та пептиди, а також різні мінерали та вітаміни. Усі ці біологічно активні сполуки можуть брати участь у біосинтезі наночастинок металів (Alprol, Mansour, Abdelwahab, & Ashour, 2023). При цьому для біосинтезу наночастинок, зазвичай, використовують екстракти різних водоростей, інформація про які наведена нижче.

AuNPs. На сьогодні є багато досліджень, де прісноводні (Li, 2016; Dahoumane, 2016; Zayadi, 2020) та морські (Abdel-Raouf, 2017; Ramakrishna, 2016; Senthilkumar, 2019) водорості використовуються як біологічні об'єкти для синтезу наночастинок золота. Серед цих водоростей зустрічаються морські червоні водорості *Galaxaura elongata* (Abdel-Raouf, Al-Enazi, & Ibraheem, 2017), *Gelidiella acerosa* (Senthilkumar, Surendran, Sudhagar, & Kumar, 2019), *Halymenia pseudofloresii* (Palaniyandi та ін., 2023), *Hypnea valentine* (Viswanathan та ін., 2023a); морські бурі водорості *Cystoseira baccata* (Gonzalez-Ballesteros, Prado-Lopez, Rodriguez-Gonzalez, Lastra, & Rodriguez-Arguelles, 2017), *Sargassum muticum* (Namvar та ін., 2014), *Turbinaria conoides*, *Sargassum tenerrimum* (Ramakrishna, Rajesh Babu, Gengan, Chandra, & Nageswara Rao, 2016); зелені нитчасті водорості *Pithophora oedogonia* (Li, & Zhang, 2016); мікроводорості *Euglena gracilis* (Dahoumane та ін., 2016), *Chlorella vulgaris* (Zayadi, & Bakar, 2020).

Для біосинтезу наночастинок золота використовують екстракт з подрібнених водоростей, в якому присутні різні біологічно активні сполуки (Namvar та ін., 2014). Доведено, що вони беруть участь у формуванні та стабілізації наночастинок золота (Abdel-Raouf, Al-Enazi, & Ibraheem, 2017). Виявлено феноли та карбонільні молекули, які беруть участь у процесі біосинтезу AuNPs (Viswanathan та ін., 2023a). Крім того, ідентифіковані й інші хімічні сполуки, які відіграють важливу роль у відновленні іонів золота та біосинтезі наночастинок золота: андрографолід, оксид аромадендрену, глутамінова, гексадеканова, олеїнова, 11-ейкозенова, стеаринова та галова кислоти, катехін та ін. (Abdel-Raouf, Al-Enazi, & Ibraheem, 2017). При цьому основними компонентами у складі екстракту бурих водоростей є полісахариди, фенольні сполуки, білки, вітаміни, терпеноїди та стерини (Gonzalez-Ballesteros, Prado-Lopez, Rodriguez-Gonzalez, Lastra, & Rodriguez-Arguelles, 2017). Це свідчить про наявність великої кількості функціональних груп, які відіграють важливу роль у синтезі наночастинок золота. Слід наголосити, що полісахариди, які є у складі водоростей, містять велику кількість гідроксильних груп. Показано, що сполуки, які мають аміно- та гідроксильні функціональні

групи, можуть бути пов'язані з відновленням, а також стабілізацією наночастинок золота (Ramakrishna, Rajesh Babu, Gengan, Chandra, & Nageswara Rao, 2016).

AgNPs. Показано використання зелених мікрроводоростей (Chokshi, 2016; Arya, 2019; Ceroi, 2022; Kumar, 2023; Kumar, 2022), зелених морських водоростей (Aboelfetoh, 2017; Dogmaz, 2023; Kathiraven, 2015), бурих морських водоростей (Deepak, 2018; Fernandes, 2023; Madhiyazhagan, 2015; Gonzalez-Ballesteros, 2020; Bhuyar, 2020), червоних морських водоростей (Fatima, 2020; Viswanathan, 2023b), а також прісноводних зелених водоростей (Rajkumar, Ezhumalai, & Gnanadesigan, 2021) для отримання біогенних наночастинок срібла. Показано можливість використання водоростей *Dunaliella salina* для отримання AgNPs. Зелені одноклітинні мікрроводорості *Dunaliella* містять велику кількість β -каротину і є екстремофільними галофілами, вони можуть рости у водоймах з високою солоністю (Ceroi, Zinicovscaia, Rudi, Chiriac, & Turchenko 2022). Chokshi зі співавтор. для синтезу наночастинок срібла використовували водний екстракт біомаси зелених мікрроводоростей *Acutodesmus dimorphus*, що залишилася після екстракції ліпідів для отримання біопалива. При цьому водорості культивували на середовищі з виробничими стічними водами молочної ферми (Chokshi та ін., 2016). Для біосинтезу наночастинок срібла можна використовувати зелені мікрроводорості *Chlorella minutissima*, які належать до роду *Chlorella* та типу *Chlorophyta*. Вони добре ростуть у широкому діапазоні інтенсивності світла й температури. Залежно від наявності поживних речовин та умов довкілля ці водорості демонструють різні способи харчування, включаючи автотрофний, гетеротрофний і міксотрофний (Kumar, Mohan, Anand, & Bharadvaia, 2023). Є дослідження, де для біосинтезу AgNPs використовують мікрроводорості *Chlorella sorokiniana*. Вони належать до роду *Chlorella*, типу *Chlorophyta*, та можуть рости в широкому діапазоні температур та інтенсивності світла (Kumar, & Bharadvaia, 2022).

Щодо механізмів біосинтезу наночастинок срібла, то відомо, що водорості містять різні біохімічні речовини, такі як каротиноїди, амінокислоти, полісахариди, крохмаль, поліфеноли, вітаміни, мінерали, астаксантини, білки та ферменти. Ці компоненти є відновниками та стабілізаторами під час біосинтезу AgNPs (Kumar, 2023; Kumar, 2022). Під час ідентифікації можливих біомолекул, що відповідають за утворення AgNPs, було встановлено, що карбонільні групи амінокислотних залишків і білків, аміногрупи цистеїнових залишків і сульфатованих полісахаридів зв'язуються з металами. Таке зв'язування утворює шар, що покриває метал у складі наночастинок, що таким чином запобігає агломерації та забезпечує їх стабілізацію. Також повідомлено про участь гідроксильних і карбоксильних груп білків у біосинтезі наночастинок срібла (Chokshi та ін., 2016). Блокуючими агентами для стабілізації AgNPs можуть бути аміни, алкени, спиртові групи або поліфенольні сполуки (Bhuyar та ін., 2020). Є дослідження, де авторами зроблено припущення, що активну роль у процесах відновлення й стабілізації під час біосинтезу наночастинок срібла відіграють полісахариди та поліфенольні сполуки (Gonzalez-Ballesteros та ін., 2020).

Екстракти морських водоростей також містять такі функціональні групи, як амід, амін, алкан, алкен, групи карбонових кислот і метилен, які беруть участь в утворенні наночастинок. Так, показано присутність груп карбонових кислот, алканів та амінів, які можуть бути відповідальними за стабілізацію наночастинок

срібла. Також ці сполуки запобігають їх агломерації (Deepak та ін., 2018). Доведено, що білки, полісахариди, аміді, довголанцюгові жирні кислоти є біомолекулами, які відповідають за біовідновлення іонів срібла та запобігають утворенню агломератів (Arya, 2019; Kathiraven, 2015; Bhuyar, 2020). Показано, що основна роль у формуванні наночастинок срібла належить амінім і аліфатичним алкільним групам. Встановлено, що утворення наночастинок срібла супроводжувалося зниженням вмісту білків, β -каротину та ліпідів у реакційній суміші (Seroi, Zini-covscaia, Rudi, Chiriac, & Turchenko 2022). Є припущення, що функціональні гідроксильні групи поліфенолів і полісахаридів можуть брати участь у відновленні іонів срібла. А білки та сульфогрупи полісахаридів запобігають агломерації наночастинок. При цьому карбонільні групи відіграють роль у відновленні та стабілізації н AgNPs (Fernandes та ін., 2023). Також показано участь сульфатних і гідроксильних груп, які присутні в екстрактах водоростей у процесі відновлення наночастинок срібла (Madhiyazhagan та ін., 2015).

PtNPs. На сьогодні досліджено отримання наночастинок платини за допомогою водоростей (Ramkumar, 2017; Anju, 2020; Sathiyaraj, 2021; Palanisamy, 2023). Так, Ramkumar зі співавтор. використовували морські бурі водорості *Padina gymnospora*, що були зібрані в прибережному районі Манарської затоки на південно-східному узбережжі Індії. Серед макроводоростей цього регіону рід *Padina* є одним з найпоширеніших, тому використовується в багатьох галузях і напрямках досліджень (Ramkumar та ін., 2017). Також для дослідження біосинтезу PtNPs були використані зелені водорості *Botryococcus braunii*, що були зібрані в озері Удайсагар в Індії (Anju, Gupta, & Chundawat 2020). Іншими авторами показаний біосинтез наночастинок платини з використанням червоних водоростей *Halymenia dilatata*, які належать до родини *Halymeniaceae* та здебільшого зустрічаються у прибережних районах азійських країн та на південно-східному узбережжі Індії (Sathiyaraj та ін., 2021).

За відновлення іонів платини та формування наночастинок платини відповідають різноманітні функціональні групи біомолекул, що присутні в екстрактах морських водоростей. Так, біомолекули з алкільними, аліфатичними та фенольними групами беруть участь у біосинтезі PtNPs (Ramkumar та ін., 2017). Також показано, що гідроксильні групи біомолекул екстракту водоростей мають сильну здатність взаємодіяти з наночастинками платини. А білки, полісахариди, аміді та жирні кислоти з довгими ланцюгами відповідальні за біовідновлення іонів платини та діють як блокуючі та стабілізуючі агенти в синтезі наночастинок (Anju, Gupta, & Chundawat 2020). В іншому дослідженні у складі екстракту водоростей були ідентифіковані такі компоненти, як алкалоїди, флавоноїди, дубильні речовини, терпеноїди, стероїди, вуглеводи, глікозиди, амінокислоти та білки, які також можуть бути залучені до процесу біосинтезу PtNPs (Sathiyaraj та ін., 2021).

PdNPs. Для синтезу наночастинок паладію були використані екстракти морських бурих водоростей *Sargassum bovinum* (Momeni, & Nabipour, 2015), а також зелених мікроводоростей *Botryococcus braunii* (Anju, Gupta, & Chundawat 2020) та *Chlorella vulgaris* (Arsiya, Sayadi, & Sobhani, 2017). *Sargassum* — рід бурих морських водоростей, який зустрічається в усіх океанах, і включає приблизно 400 видів. Вони містять у своєму складі близько 200 біоактивних сполук, таких як меротерпеноїди, флоротаніни, фукоїдани, стерини та гліколіпіди. Водорості *Sargassum*

bovinum були зібрані авторами в районі Перської затоки для подальших досліджень щодо біосинтезу PdNPs (Momeni, & Nabipour, 2015).

Водорозчинні сполуки, які присутні в екстрактах морських водоростей, можуть брати участь у відновленні іонів паладію, а також біосинтезі та стабілізації наночастинок паладію. Оскільки різні функціональні групи відіграють вирішальну роль у відновленні іонів металів під час біосинтезу наночастинок, Arsiya зі співавтор. проводили дослідження щодо їх виявлення. Автори встановили, що поліольні та амідні групи можуть брати участь у біосинтезі PdNPs (Arsiya, Sayadi, & Sobhani, 2017). Інші автори показали участь таких біомолекул, як білки, полісахариди, аміди та жирні кислоти у біосинтезі наночастинок паладію (Anju, Gupta, & Chundawat 2020). Саргасові водорості містять у своєму складі терпеноїди, поліоли та полісахариди, які сприяють біовідновленню PdNPs. Momeni та Nabipour встановили наявність сульфатованих полісахаридів під час отримання наночастинок паладію, що вказує на їх участь в цьому процесі. Проте ще невідомо, які саме сполуки відповідають за відновлення та стабілізацію PdNPs (Momeni & Nabipour, 2015).

Наночастинки рутенію (RuNPs). Морські водорості *Dictyota dichotoma* були використані для біосинтезу наночастинок рутенію. Ці водорості виростають близько 1 дм заввишки з вузькими пазухами та поширені на мілководді і на твердих поверхнях. Для синтезу RuNPs автори використовували екстракт водоростей, а сам синтез наночастинок здійснювали за температури 121 °C, використовуючи для цього автоклав. Щодо механізму біосинтезу наночастинок рутенію, то в ході досліджень було підтверджено присутність функціональних груп спиртів, карбонових кислот, складних і простих ефірів, які беруть участь в утворенні RuNPs. Крім того, Ali зі співавтор. зробили припущення, що вказані групи перешкоджають агломерації наночастинок (Ali, Anuradha, Abishek, Yogananth, & Sheeba, 2017).

Узагальнена інформація щодо параметрів біосинтезу та біологічної активності наночастинок благородних металів при використанні для їх біосинтезу водоростей наведена у табл. 2.

Таблиця 2. Можливості використання водоростей для біосинтезу наночастинок благородних металів

Водорості	Характеристика наночастинок		Біологічні властивості наночастинок	Джерело
	форма, розміри	параметри біосинтезу		
AuNPs				
<i>Sargassum muticum</i>	Сферичні, 3—8 нм	45 °C, 1,5 год	*	Namvar та ін., 2014
<i>Sargassum tenerrimum</i>	Сферичні, 5—45 нм	22—25 °C (кімнатна), 60 хв	Каталітична активність щодо відновлення 4-нітрофенолу, п-нітроаніліну, родаміну В, сульфородаміну 101	Ramakrishna, Rajesh Babu, Gengan, Chandra, & Nageswara Rao, 2016

<i>Gelidiella acerosa</i>	Сферичні, 5,81—117,59 нм	22—25 °C (кімнатна), 1 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i> MTCC 443, <i>Serratia marcescens</i> MTCC 97, <i>Klebsiella pneumonia</i> MTCC 432, <i>Bacillus subtilis</i> MTCC 441	Senthilkumar, Surendran, Sudhagar, & Kumar, 2019
<i>Cystoseira baccata</i> SG Gmelin	Сферичні, 6,2—10,6 нм	22—25 °C (кімнатна), 24 год	Протипухлинна активність щодо клітин HT-29 та Caco-2 (рак товстої кишки)	Gonzalez-Ballesteros, Prado-Lopez, Rodriguez-Gonzalez, Lastra, & Rodriguez-Arguelles, 2017
<i>Chlorella vulgaris</i>	Сферичні, 10,7—18,6 нм	22—25 °C (кімнатна), 3 год	Каталітична активність щодо відновлення 4-нітрофеолу. Антиоксидантна активність щодо 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу	Zayadi, & Bakar, 2020
<i>Pithophora oedogonia</i>	Сферичні, 20—80 нм	22—25 °C (кімнатна), 1 год	Електрокаталітична активність щодо визначення молекул карбендазіму в ґрунті	Li, & Zhang, 2016
<i>Halymenia pseudofloresii</i>	Кубічні та прямокутні, 27 нм	—	Антиоксидантна активність щодо 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу. Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> . Протипухлинна активність щодо клітин A549 (рак легень)	Palaniyandi та ін., 2023
<i>Galaxaura elongata</i>	Різної форми (сферичні, стрижневі, трикутні, усічено-трикутні, гексагональні), 3,85—77,13 нм	22—25 °C (кімнатна), 12 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213, <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 12498, <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922, <i>Klebsiella pneumonia</i> ATCC 27738, <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	Abdel-Raouf, Al-Enazi, & Ibraheem, 2017
<i>Euglena gracilis</i> ALCP#217	Різної форми (круглі, трикутні, шестикутні), 10 нм	22—25 °C (кімнатна), 14 днів	*	Dahoumane та ін., 2016
AgNPs				
<i>Acutodesmus dimorphus</i>	Сферичні, 2—20 нм	22—25 °C (кімнатна), 24 год	Антиоксидантна активність щодо 1,1-дифеніл-2-пікрілгідразилу та 2,2'-азинобіс (3-етил бензтіазолін-6-сульфонової кислоти)	Chokshi та ін., 2016

<i>Caulerpa serrulata</i>	Сферичні, 5—25 нм	95 °С, 24 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Shigella</i> sp., <i>Salmonella typhi</i> , <i>Escherichia coli</i> . Каталітична активність щодо видалення азобарвника (Конго-червоного)	Aboelfetoh, El-Shenody, & Ghobara, 2017
<i>Dunaliella salina</i>	Сферичні, 15—40 нм	22—25 °С (кімнатна), 24 год	Антиоксидантна активність щодо 2,2'-азино-біс-(3-етилбензтіозолін-6-сульфокислоти)	Cepoi, Zinicovscaia, Rudi, Chiriac, & Turchenko 2022
<i>Cystoseira baccata</i>	Сферичні, 15,5—27,9 нм	100 °С, 30 хв	Антиоксидантна активність щодо 1,1-дифеніл-2-пікрилгідразилу. Антибактеріальна активність щодо <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC, <i>Escherichia coli</i> ATCC 11303, <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538	Fernandes та ін., 2023
<i>Cystoseira tamariscifolia</i>	Сферичні, 20,6—23,4 нм			
<i>Sargassum wightii</i>	Сферичні, 18,45—41,59 нм	22—25 °С (кімнатна), 24 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Salmonella typhimurium</i> , <i>Shigella flexneri</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus cereus</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> . Антиоксидантна активність щодо 1,1-дифеніл-2-пікрилгідразилу. Ферментінгібуюча активність щодо α -глюкозидази та α -амілази	Deepak та ін., 2018
<i>Padina</i> sp.	Сферичні, овальні, 25—60 нм	60 °С, 48 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Bhuyar та ін., 2020
<i>Chlorella sorokiniana</i>	Сферичні, 28,52–40,35 нм	22—25 °С (кімнатна), 3 дні	Антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> . Фотокаталітична активність щодо барвників кристалічний фіолетовий, метиленовий синій, еозиновий жовтий Y, родамін В	Kumar, & Bharadvaja, 2022
<i>Sargassum muticum</i>	Сферичні, 35,3—46,7 нм	100 °С, 72 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Staphylococcus saprophyticus</i> , <i>Enterococcus faecalis</i>	Gonzalez-Ballesteros та ін., 2020

<i>Botryococcus braunii</i>	Сферичні, 40—90 нм	22—25 °С (кімнатна), 3 год	Каталітична активність щодо відновлення 2-нітроаніліну	Arya, Mishra, & Chundawat, 2019
<i>Sargassum muticum</i>	Сферичні, 43—79 нм	95 °С, 120 хв	Овоцидна та відлякувальна активність щодо <i>Aedes aegypti</i> , <i>Anopheles stephensi</i> , <i>Culex quinquefasciatus</i> . Антибактеріальна активність щодо <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Salmonella typhi</i>	Madhiyazhagan та ін., 2015
<i>Chlorella vulgaris</i>	Сферичні, 45,39-64,73 нм	22-25 °С (кімнатна), 72 год	Фотокаталітична активність щодо метиленового синього	Rajkumar, Ezhumalai, & Gnanadesigan, 2021
<i>Portieria hornemannii</i>	Сферичні, 70—75 нм	22—25 °С (кімнатна), 24 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , <i>Vibrio vulnificus</i> , <i>Vibrio harveyi</i> , <i>Vibrio anguillarum</i>	Fatima, Priya, Indurthi, Radhakrishnan, & Sudhakaran, 2020
<i>Chlorella minutissima</i>	Сферичні, 73,13 нм	37 °С, 120 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella</i> sp., <i>Klebsiella</i> sp., <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacillus cereus</i>	Kumar, Mohan, Anand, & Bharadvaja, 2023
<i>Caulerpa racemosa</i>	Трикутні та сферичні, 10 нм	22—25 °С (кімнатна), 24 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29123, <i>Proteus mirabilis</i> ATCC 25933	Kathiraven, Sundaramanickam, Shanmugam, & Balasubramanian, 2015
PtNPs				
<i>Caulerpa sertularioides</i>	Сферичні, 6—22 нм	—	Антиоксидантна активність щодо 1,1-дифеніл-2-пікрилгідразилу. Антибактеріальна активність щодо <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Palanisamy та ін., 2023
<i>Halymenia dilatata</i>	Сферичні, 13,3—16,7 нм	60 °С, 1 год	Антиоксидантна активність щодо 1,1-дифеніл-2-пікрилгідразилу. Антибактеріальна активність щодо <i>Streptococcus pneumoniae</i> MTCC 1936, <i>Aeromonas hydrophila</i> ATCC 7966. Протипухлинна активність щодо клітин MDA-MB-231 (рак молочної залози)	Sathiyaraj та ін., 2021

<i>Padina gymnospora</i>	Зрізаний октаедр, 5—50 нм	10—15 хв	Антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i> MTCC 1687, <i>Lactococcus lactis</i> MTCC 440, <i>Klebsiella pneumoniae</i> MTCC 7407. Антиоксидантна активність щодо 1,1-дифеніл-2- пікрилгідрозилу	Ramkumar та ін., 2017
<i>Botryococcus braunii</i>	Різної форми (кубічна, сферична, усічено- трикутна), 86,96 нм	95 °C, 4 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Pseudomonas aeruginosa</i> MTCC 441, <i>Escherichia coli</i> MTCC 442, <i>Klebsiella pneumoniae</i> MTCC 109, <i>Staphylococcus aureus</i> MTCC 96. Протигрибкова активність щодо <i>Fusarium oxysporum</i> MTCC 2087. Антиоксидантна активність щодо 1,1-дифеніл-2- пікрилгідрозилу	Anju, Gupta, & Chundawat 2020
PdNPs				
<i>Chlorella vulgaris</i>	Сферичні, 5—20 нм	60 °C, 10 хв	*	Arsiya, Sayadi, & Sobhani, 2017
<i>Botryococcus braunii</i>	Різної форми (кубічна, сферична, усічено-три- кутна), 4,89 нм	60 °C, 3 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Pseudomonas aeruginosa</i> MTCC 441, <i>Escherichia coli</i> MTCC 442, <i>Klebsiella pneumoniae</i> MTCC 109, <i>Staphylococcus aureus</i> MTCC 96. Протигрибкова активність щодо <i>Fusarium oxysporum</i> MTCC 2087. Антиоксидантна активність щодо 1,1-дифеніл-2- пікрилгідрозилу	Anju, Gupta, & Chundawat 2020
<i>Sargassum bovinum</i>	Октаедрична, 5—10 нм	60 °C, 24 год	Каталітична активність щодо відновлення перекису водню	Momeni, & Nabipour, 2015
RuNPs				
<i>Dictyota dichotoma</i>	Неправильної форми, 25-90 нм	121 °C, 10 хв	Протипухлинна активність щодо клітин HeLa (рак шийки матки), MCF-7 (аденокарцинома молочної залози)	Ali, Anuradha, Abishek, Yogananth, & Sheeba., 2017

Примітка: * — автори не досліджували біологічну активність наночастинок.

Висновки

Для біосинтезу наночастинок благородних металів використовують ціанобактерії та водорості. Якщо біологічним об'єктом для біосинтезу наночастинок обирають ціанобактерії, то можливі різні варіанти їх використання, зокрема у вигляді культуральної рідини, біомаси, супернатанту, безклітинного водного екстракту, а також використовують клітинні пігменти та полісахариди. При використанні водоростей для біосинтезу наночастинок використовують їх екстракти. При цьому бачимо, що застосування різних видів та родів ціанобактерій і водоростей призводить до синтезу наночастинок різної форми та розмірів. Залежно від умов та вибору біологічного об'єкта для біосинтезу отримують наночастинок, які мають різноманітні біологічні властивості — антибактеріальні, протигрибкові, антиракові, протипухлинні, антиоксидантні, протизапальні, каталітичні тощо. Дослідження механізмів біосинтезу наночастинок благородних металів з використанням ціанобактерій і водоростей ще не завершені. Вчені з'ясували, що у відновленні іонів металів, синтезі наночастинок та їх стабілізації беруть участь різні молекули — білки, ферменти, алкани, аміді, аміни, полісахариди, різні органічні кислоти, амінокислоти тощо.

Як і в нашому попередньому огляді (Скροцька, & Марченко, 2023), коли ми аналізували використання грибів, дріжджів та бактерій для біосинтезу благородних металів, так і в цьому, бачимо, що на сьогодні є багато досліджень, що стосуються біосинтезу наночастинок золота та срібла. А от опублікованих праць, що стосуються біосинтезу платини і паладію дуже мало. Щодо наночастинок рутенію, то нам вдалось знайти лише одну публікацію, що стосується використання водоростей для їх біосинтезу. При цьому ми не знайшли досліджень біосинтезу таких благородних металів, як родій, іридій та осмій саме з використанням ціанобактерій і водоростей.

Література

Скροцька О. І., Марченко В. В. Біосинтез наночастинок благородних металів. Частина 1. Використання грибів, дріжджів та бактерій // Наукові праці НУХТ. Т. 29, № 3. 2023. С. 50—72. doi: 10.24263/2225-2924-2023-29-3-6.

Abdel-Raouf, N., Al-Enazi, N. M., Ibraheem, I. B. (2017). Green biosynthesis of gold nanoparticles using *Galaxaura elongata* and characterization of their antibacterial activity. *Arab. J. Chem.*, 10, S3029—S3039. doi: 10.1016/j.arabjc.2013.11.044.

Aboelfetoh, E. F., El-Shenody, R. A., Ghobara, M. M. (2017). Eco-friendly synthesis of silver nanoparticles using green algae (*Caulerpa serrulata*): reaction optimization, catalytic and antibacterial activities. *Environ. Monit. Assess.*, 189, 1—15. doi: 10.1007/s10661-017-6033-0.

Ahamad, I., Aziz, N., Zaki, A., Fatma, T. (2021). Synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Anabaena variabilis* as a potential antimicrobial agent. *J. Appl. Phycol.*, 33, 829—841. doi: 10.1007/s10811-020-02323-w.

Ali, M. Y. S., Anuradha, V., Abishek, R., Yogananth, N., Sheeba, H. (2017). In vitro anticancer activity of green synthesis ruthenium nanoparticle from *Dictyota dichotoma* marine algae. *Nano World J.*, 3(4), 66—71. doi: 10.17756/nwj.2017-049.

Alprol, A. E., Mansour, A. T., Abdelwahab, A. M., Ashour, M. (2023). Advances in green synthesis of metal oxide nanoparticles by marine algae for wastewater treatment by adsorption and photocatalysis techniques. *Catalysts*, 13, 888. doi: 10.3390/catal13050888.

- Anju, A. R. Y. A., Gupta, K., Chundawat, T. S. (2020). In vitro antimicrobial and antioxidant activity of biogenically synthesized palladium and platinum nanoparticles using *Botryococcus braunii*. *Turk. J. Pharm. Sci.*, 17(3), 299. doi: 10.4274/tjps.galenos.2019.94103.
- Arsiya, F., Sayadi, M. H., Sobhani, S. (2017). Green synthesis of palladium nanoparticles using *Chlorella vulgaris*. *Mater. Lett.*, 186, 113—115. doi: 10.1016/j.matlet.2016.09.101.
- Arya, A., Mishra, V., Chundawat, T. S. (2019). Green synthesis of silver nanoparticles from green algae (*Botryococcus braunii*) and its catalytic behavior for the synthesis of benzimidazoles. *Chem. Data Collect.*, 20, 100190. doi: 10.1016/j.cdc.2019.100190.
- Bakir, E. M., Younis, N. S., Mohamed, M. E., El Semary, N. A. (2018). Cyanobacteria as nanogold factories: chemical and anti-myocardial infarction properties of gold nanoparticles synthesized by *Lyngbya majuscula*. *Mar. Drugs*, 16(6), 217. doi: 10.3390/md16060217.
- Bhuyar, P., Rahim, M. H. A., Sundararaju, S., Ramaraj, R., Maniam, G. P., Govindan, N. (2020). Synthesis of silver nanoparticles using marine macroalgae *Padina* sp. and its antibacterial activity towards pathogenic bacteria. *Beni-Suef Univ. J. Basic. Appl. Sci.*, 9, 3. doi: 10.1186/s43088-019-0031-v.
- Brayner, R., Barberousse, H., Hemadi, M., Djedjat, C., Yepremian, C., Coradin, T., Livage, J., ... Coute, A. (2007). Cyanobacteria as bioreactors for the synthesis of Au, Ag, Pd, and Pt nanoparticles via an enzyme-mediated route. *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 7(8), 2696—2708. doi: 10.1166/jnn.2007.600.
- Cepoi, L., Zinicovscaia, I., Rudi, L., Chiriac, T., Turchenko, V. (2022). Changes in the *Dunaliella salina* biomass composition during silver nanoparticles formation. *Nanotechnol. Environ. Eng.*, 7(1), 235—243. doi: 10.1007/s41204-022-00218-4.
- Chokshi, K., Pancha, I., Ghosh, T., Paliwal, C., Maurya, R., Ghosh, A., Mishra, S. (2016). Green synthesis, characterization and antioxidant potential of silver nanoparticles biosynthesized from deoiled biomass of thermotolerant oleaginous microalgae *Acutodesmus dimorphus*. *RSC Adv.*, 6(76), 72269—72274. doi: 10.1039/C6RA15322D.
- Dahoumane, S. A., Yepremian, C., Djedjat, C., Coute, A., Fievet, F., Coradin, T., Brayner, R. (2016). Improvement of kinetics, yield, and colloidal stability of biogenic gold nanoparticles using living cells of *Euglena gracilis* microalga. *J. Nanopart. Res.*, 18, 79. doi: 10.1007/s11051-016-3378-1.
- Deepak, P., Amutha, V., Birundha, R., Sowmiya, R., Kamaraj, C., Balasubramanian, V., ..., Perumal, P. (2018). Facile green synthesis of nanoparticles from brown seaweed *Sargassum wightii* and its biological application potential. *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.*, 9(3), 035019. doi: 10.1088/2043-6254/aadc4a.
- Dogmaz, S., Cavas, L. (2023). Biohydrogen production via green silver nanoparticles synthesized through biomass of *Ulva lactuca* bloom. *Bioresour. Technol.*, 379, 129028. doi: 10.1016/j.biortech.2023.129028.
- El-Deeb, N. M., Khattab, S. M., Abu-Youssef, M. A., Badr, A. M. (2022). Green synthesis of novel stable biogenic gold nanoparticles for breast cancer therapeutics via the induction of extrinsic and intrinsic pathways. *Sc. Rep.*, 12(1), 11518. doi: 10.1038/s41598-022-15648-y.
- El-Hadya, D. A., Morsyc, F. M., Yakout, A. A. (2014). Coparative studies of one-pot green routes by polysaccharides of cyanobacterium *Nostoc commune* and other chemical reductants for preparation of palladium nanoparticles. *Fac. Sci. Alex. Univ. J.*, 49 (1,2), 32—42.
- El-Naggar, N. E., Hussein, M. H., El-Sawah, A. A. (2017). Bio-fabrication of silver nanoparticles by phycoerythrin, characterization, *in vitro* anticancer activity against breast cancer cell line and *in vivo* cytotoxicity. *Sci. Rep.*, 7, 10844. doi: 10.1038/s41598-017-11121-3.
- Fatima, R., Priya, M., Indurthi, L., Radhakrishnan, V., Sudhakaran, R. (2020). Biosynthesis of silver nanoparticles using red algae *Portieria hornemannii* and its antibacterial activity against fish pathogens. *Microb. Pathog.*, 138, 103780. doi: 10.1016/j.micpath.2019.103780.
- Fernandes, M., Gonzalez-Ballesteros, N., da Costa, A., Machado, R., Gomes, A. C., Rodríguez-Argüelles, M. C. (2023). Antimicrobial and anti-biofilm activity of silver nanoparticles biosynthesized with *Cystoseira* algae extracts. *J. Biol. Inorg. Chem.*, 28, 439—450. doi: 10.1007/s00775-023-01999-v.
- Fritz, M., Korsten, S., Chen, X., Yang, G., Lv, Y., Liu, M., ..., Fischer, C. B. (2023). Time-Dependent Size and Shape Evolution of Gold and Europium Nanoparticles from a Bioproducing Microorganism, a Cyanobacterium: A Digitally Supported High-Resolution Image Analysis. *Nanomaterials*, 13, 130. doi: 10.3390/nano13010130.

Gonzalez-Ballesteros, N., Prado-Lopez, S., Rodriguez-Gonzalez, J. B., Lastra, M., Rodriguez-Arguelles, M. (2017). Green synthesis of gold nanoparticles using brown algae *Cystoseira baccata*: Its activity in colon cancer cells. *Colloids Surf. B Biointerfaces*, 153, 190—198. doi: 10.1016/j.colsurfb.2017.02.020.

Gonzalez-Ballesteros, N., Rodriguez-Arguelles, M. C., Lastra-Valdor, M., Gonzalez-Mediero, G., Rey-Cao, S., Grimaldi, M., ..., Bigi, F. (2020). Synthesis of silver and gold nanoparticles by *Sargassum muticum* biomolecules and evaluation of their antioxidant activity and antibacterial properties. *J. Nanostruct. Chem.*, 10, 317—330. doi: 10.1007/s40097-020-00352-y.

Hamed, S. M., Hagag, E. S., El-Raouf, N. A. (2019). Green production of silver nanoparticles, evaluation of their nematocidal activity against *Meloidogyne javanica* and their impact on growth of faba bean. *Beni-Suef. Univ. J. Basic Appl. Sci.*, 8, 9. doi: 10.1186/s43088-019-0010-3.

Hamida, R. S., Abdelmeguid, N. E., Ali, M. A., Bin-Meferij, M. M., Khalil, M. I. (2020). Synthesis of silver nanoparticles using a novel cyanobacteria *Desertifilum* sp. extract: their antibacterial and cytotoxicity effects. *Int. J. Nanomed.*, 15, 49—63. doi: 10.2147/IJN.S238575.

Hamida, R. S., Albasher, G., Bin-Meferij, M. M. (2020). Oxidative stress and apoptotic responses elicited by *Nostoc*-synthesized silver nanoparticles against different cancer cell lines. *Cancers*, 12, 2099. doi: 10.3390/cancers12082099.

Hamida, R. S., Ali, M. A., Goda, D. A., Khalil, M. I., Al-Zaban, M. I. (2020). Novel biogenic silver nanoparticle-induced reactive oxygen species inhibit the biofilm formation and virulence activities of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) strain. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 8, 433. doi:10.3389/fbioe.2020.00433.

Hanna, A. L., Hamouda, H. M., Goda, H. A., Sadik, M. W., Moghanm, F. S., Ghoneim, A. M., ..., Elsaved, T. R. (2022). Biosynthesis and characterization of silver nanoparticles produced by *Phormidium ambiquum* and *Desertifilum tharense* cyanobacteria. *Bioinorg. Chem. Appl.*, 2022, 9072508. doi: 10.1155/2022/9072508.

Ismail, G. A., El-Sheekh, M. M., Samy, R. M., Gheda, S. F. (2021). Antimicrobial, antioxidant, and antiviral activities of biosynthesized silver nanoparticles by phycobiliprotein crude extract of the cyanobacteria *Spirulina platensis* and *Nostoc linckia*. *BioNanoSci.*, 11, 355—370. doi: 10.1007/s12668-021-00828-3.

Jamkhande, P. G., Ghule, N. W., Bamer, A. H., Kalaskar, M. G. (2019). Metal nanoparticles synthesis: an overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications. *J. Drug Deliv. Sci. Technol.*, 53, 101174. doi: 10.1016/j.jddst.2019.101174.

Kathiraven, T., Sundaramanickam, A., Shanmugam, N., Balasubramanian, T. (2015). Green synthesis of silver nanoparticles using marine algae *Caulerpa racemosa* and their antibacterial activity against some human pathogens. *Appl. Nanosci.*, 5, 499—504. doi: 10.1007/s13204-014-0341-2.

Khan, I., Saeed, K., Khan, I. (2019). Nanoparticles: properties, applications and toxicities. *Arab. J. Chem.* 12(7), 908—931. doi: 10.1016/j.arabjc.2017.05.011.

Kumar, L., Bharadvaja, N. (2022). Biosynthesis, characterization, and evaluation of antibacterial and photocatalytic dye degradation activities of silver nanoparticles biosynthesized by *Chlorella sorokiniana*. *Biomass Conv. Bioref.*, 277. doi: 10.1007/s13399-022-03433-w.

Kumar, L., Mohan, L., Anand, R., Bharadvaja, N. (2023). *Chlorella minutissima*-assisted silver nanoparticles synthesis and evaluation of its antibacterial activity. *Syst. Microbiol. and Biomanuf.*, 458. doi: 10.1007/s43393-023-00173-4.

Lenartowicz, M., Marek, P. H., Madura, I. D., Lipok, J. (2017). Formation of variously shaped gold nanoparticles by *Anabaena laxa*. *J. Clust. Sci.*, 28, 3035—3055. doi: 10.1007/s10876-017-1275-0.

Lengke, M. F., Fleet, M. E., Southam, G. (2006). Synthesis of platinum nanoparticles by reaction of filamentous cyanobacteria with platinum (IV) chloride complex. *Langmuir*, 22(17), 7318—7323. doi: 10.1021/la060873s.

Lengke, M. F., Fleet, M. E., Southam, G. (2007). Synthesis of palladium nanoparticles by reaction of filamentous cyanobacterial biomass with a palladium (II) chloride complex. *Langmuir*, 23(17), 8982—8987. doi: 10.1021/la7012446.

Lengke, M. F., Ravel, B., Fleet, M. E., Wanger, G., Gordon, R. A., Southam, G. (2006). Mechanisms of gold bioaccumulation by filamentous cyanobacteria from gold (III)-chloride complex. *Environ. Sci. Technol.*, 40, 6304—6309. doi: 10.1021/es061040r.

- Li, L., Zhang, Z. (2016). Biosynthesis of gold nanoparticles using green alga *Pithophora oedogonia* their electrochemical performance for determining carbendazim in soil. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 11, 4550—4559. doi: 10.20964/2016.06.13.
- Madhiyazhagan, P., Murugan, K., Kumar, A. N., Nataraj, T., Dinesh, D., Panneerselvam, C., ..., Benelli, G. (2015). *Sargassum muticum*-synthesized silver nanoparticles: An effective control tool against mosquito vectors and bacterial pathogens. *Parasitol. Res.*, 114, 4305—4317. doi: 10.1007/s00436-015-4671-0.
- Mandhata, C. P., Sahoo, C. R., Mahanta, C. S., Padhy, R. N. (2021). Isolation, biosynthesis and antimicrobial activity of gold nanoparticles produced with extracts of *Anabaena spiroides*. *Bioprocess Biosyst. Eng.*, 44, 1617—1626. doi: 10.1007/s00449-021-02544-4.
- Mohamed, M. E., El Semary, N. A., Younis, N. S. (2022). Silver nanoparticle production by the cyanobacterium *Cyanothece* sp.: de novo manipulation of nanobiosynthesis by phytohormones. *Life*, 12 (2), 139. doi: 10.3390/life12020139.
- Momeni, S., Nabipour, I. (2015). A simple green synthesis of palladium nanoparticles with *Sargassum* alga and their electrocatalytic activities towards hydrogen peroxide. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 176, 1937—1949. doi: 10.1007/s12010-015-1690-3.
- Namvar, F., Azizi, S., Ahmad, M. B., Shameli, K., Mohamad, R., Mahdavi, M., Tahir, P. M. (2015). Green synthesis and characterization of gold nanoparticles using the marine macroalgae *Sargassum muticum*. *Res. Chem. Intermed.*, 41, 5723—5730. doi: 10.1007/s11164-014-1696-4.
- Nisar, P., Ali, N., Rahman, L., Ali, M., Shinwari, Z. K. (2019). Antimicrobial activities of biologically synthesized metal nanoparticles: an insight into the mechanism of action. *J. Biol. Inorg. Chem.*, 24, 929—941. doi: 10.1007/s00775-019-01717-7.
- Palanisamy, S., Anjali, R., Jeneeta, S., Mohandoss, S., Keerthana, D., Shin, I. S., ..., Prabhu, N. M. (2023). An effective bio-inspired synthesis of platinum nanoparticles using *Caulerpa sertularioides* and investigating their antibacterial and antioxidant activities. *Bioprocess Biosyst. Eng.*, 46(1), 105—118. doi: 10.1007/s00449-022-02816-7.
- Palaniyandi, T., Viswanathan, S., Prabhakaran, P., Baskar, G., Wahab, M. R. A., Sivaji, A., ..., Kumarasamy, S. (2023). Green synthesis of gold nanoparticles using *Halymenia pseudofloresii* extracts and their antioxidant, antimicrobial, and anti-cancer activities. *Biomass. Conv. Bioref.* doi: 10.1007/s13399-023-03873-y.
- Pareek, V., Bhargava, A., Gupta, R., Jain, N., Panwar, J. (2017). Synthesis and applications of noble metal nanoparticles: a review. *Adv. Sci. Eng. Med.* 9(7), 527—544. doi: 10.1166/asem.2017.2027.
- Patel, V., Berthold, D., Puranik, P., Gantar, M. (2015). Screening of cyanobacteria and microalgae for their ability to synthesize silver nanoparticles with antibacterial activity. *Biotechnol. Rep.*, 5, 112—119. doi: 10.1016/j.btre.2014.12.001.
- Qing, Y., Cheng, L., Li, R., Liu, G., Zhang, Y., Tang, X., ..., Qin, Y. (2018). Potential antibacterial mechanism of silver nanoparticles and the optimization of orthopedic implants by advanced modification technologies. *Int. J. Nanomed.*, 13, 3311—3327. doi: 10.2147/IJN.S165125.
- Quinteros, M. A., Aristizabal, V. C., Dalmasso, P. R., Paraje, M. G., Paez, P. L. (2016). Oxidative stress generation of silver nanoparticles in three bacterial genera and its relationship with the antimicrobial activity. *Toxicol. in Vitro*, 36, 216—223. doi: 10.1016/j.tiv.2016.08.007.
- Rajkumar, R., Ezhumalai, G., Gnanadesigan, M. (2021). A green approach for the synthesis of silver nanoparticles by *Chlorella vulgaris* and its application in photocatalytic dye degradation activity. *Environ. Technol. Innov.*, 21, 101282. doi: 10.1016/j.eti.2020.101282.
- Ramakrishna, M., Rajesh Babu, D., Gengan, R. M., Chandra, S., Nageswara Rao, G. (2016). Green synthesis of gold nanoparticles using marine algae and evaluation of their catalytic activity. *J. Nanostruct. Chem.*, 6, 1—13. doi: 10.1007/s40097-015-0173-y.
- Ramkumar, V. S., Pugazhendhi, A., Prakash, S., Ahila, N. K., Vinoj, G., Selvam, S., ..., Rajendran, R. B. (2017). Synthesis of platinum nanoparticles using seaweed *Padina gymnospora* and their catalytic activity as PVP/PtNPs nanocomposite towards biological applications. *Biomed. Pharmacother.*, 92, 479—490. doi: 10.1016/j.biopha.2017.05.076.
- Saravanan, A., Kumar, P. S., Karishma, S., Vo, D.-V. N., Jeevanantham, S., Yaashikaa, P., George, C. S. (2021). A review on biosynthesis of metal nanoparticles and its environmental applications. *Chemosphere*, 264(2), 128580. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128580.

- Sathishkumar, R., Sundaramanickam, A., Srinath, R., Ramesh, T., Saranya, K., Meena, M., Surya, P. (2019). Green synthesis of silver nanoparticles by bloom forming marine microalgae *Trichodesmium erythraeum* and its applications in antioxidant, drug-resistant bacteria, and cytotoxicity activity. *J. Saudi Chem. Soc.*, 23, 1180—1191. doi: 10.1016/j.jscs.2019.07.008.
- Sathiyaraj, G., Vinosha, M., Sangeetha, D., Manikandakrishnan, M., Palanisamy, S., Sonaimuthu, M., ..., Prabhu, N. M. (2021). Bio-directed synthesis of Pt-nanoparticles from aqueous extract of red algae *Halymenia dilatata* and their biomedical applications. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.*, 618, 126434. doi: 10.1016/j.colsurfa.2021.126434.
- Savadi, M. H., Salmani, N., Heidari, A., Rezaei, M. R. (2018). Bio-synthesis of palladium nanoparticle using *Spirulina platensis* alga extract and its application as adsorbent. *Surf. Interfaces*, 10, 136—143. doi: 10.1016/j.surfint.2018.01.002.
- Senthilkumar, P., Surendran, L., Sudhagar, B., Kumar, D. R. S. (2019). Facile green synthesis of gold nanoparticles from marine algae *Gelidiella acerosa* and evaluation of its biological Potential. *SN Appl. Sci.*, 1, 284. doi: 10.1007/s42452-019-0284-z.
- Singh, Y., Kaushal, S., Sodhi, R. S. (2020). Biogenic synthesis of silver nanoparticles using cyanobacterium *Leptolyngbya* sp. WUC 59 cell-free extract and their effects on bacterial growth and seed germination. *Nanoscale Adv.*, 2, 3972—3982. doi: 10.1039/D0NA00357C.
- Tomer, A. K., Rahi, T., Neelam, D. K., Dadheech, P. K. (2019). Cyanobacterial extract-mediated synthesis of silver nanoparticles and their application in ammonia sensing. *Int. Microbiol.*, 22, 49—58. doi: 10.1007/s10123-018-0026-x.
- Uma Suganya, K. S., Govindaraju, K., Ganesh Kumar, V., Stalin Dhas, T., Karthick, V., Singaravelu, G., Elanchezhian M. (2015). Blue green alga mediated synthesis of gold nanoparticles and its antibacterial efficacy against Gram positive organisms. *Mater. Sci. Eng. C*, 47, 351—356. doi: 10.1016/j.msec.2014.11.043.
- Viswanathan, S., Palaniyandi, T., Chellam, D. C., Ahmed, M. F., Shoban, N., Pushpakumar, M., ..., Sankareswaran, S. K. (2023a). Anti-cancer activity of *Hypnea valentiae* seaweed loaded gold nanoparticles through EMT signaling pathway in A549 cells. *Biochem. Syst. Ecol.*, 107, 104606. doi: 10.1016/j.bse.2023.104606.
- Viswanathan, S., Palaniyandi, T., Shanmugam, R., Karunakaran, S., Pandi, M., Wahab, M. R. A., ..., Moovendhan, M. (2023b). Synthesis, characterization, cytotoxicity, and antimicrobial studies of green synthesized silver nanoparticles using red seaweed *Champia parvula*. *Biomass Conv. Bioref.*, 325. doi: 10.1007/s13399-023-03775-z.
- Younis, N. S., Bakir, E. M., Mohamed, M. E., El Semary, N. A. (2019). Cyanobacteria as nanogold factories II: chemical reactivity and anti-myocardial infraction properties of customized gold nanoparticles biosynthesized by *Cyanothece* sp. *Mar. Drugs*, 17(7), 402. doi: 10.3390/md17070402.
- Younis, N. S., Mohamed, M. E., El Semarv N. A. (2022) Green synthesis of silver nanoparticles by the cyanobacteria *Synechocystis* sp.: characterization, antimicrobial and diabetic wound-healing actions. *Mar. Drugs*, 20(1), 56. doi: 10.3390/md20010056.
- Zada, S., Ahmad, A., Khan, S., Yu, X., Chang, K., Iqbal, A., Ahmad, A., ..., Fu, P. (2018). Biogenic synthesis of silver nanoparticles using extracts of *Leptolyngbya* JSC-1 that induce apoptosis in HeLa cell line and exterminate pathogenic bacteria. *Artif. Cells Nanomed. Biotechnol.*, 46, 471—480. doi: 10.1080/21691401.2018.1499663.
- Zaki, A., Aziz, M. N., Ahmad, R., Ahamad, I., Ali, M. S., Yasin, D., ..., Fatma, T. (2022). Synthesis, purification and characterization of *Plectonema* derived AgNPs with elucidation of the role of protein in nanoparticle stabilization. *RSC Adv.*, 12, 2497—2510. doi: 10.1039/d1ra08396A.
- Zayadi, R. A., Bakar, F. A. (2020). Comparative study on stability, antioxidant and catalytic activities of bio-stabilized colloidal gold nanoparticles using microalgae and cyanobacteria. *J. Environ. Chem. Eng.*, 8(4), 103843. doi: 10.1016/j.jece.2020.103843.

THE USAGE OF OUTSOURCING AT FOOD INDUSTRY ENTERPRISES: THEORY, PRACTICE, FEATURES

D. Simkin, O. Pietukhova

National University of Food Technologies

Key words:

*Outsourcing
History of outsourcing
Food industry
Food industry enterprises
Outsourcing on enterprises
Business process optimization*

Article history:

Received 03.07.2023

Received in revised form
19.07.2023

Accepted 04.08.2023

Corresponding author:

D. Simkin

E-mail:

ydav181@ukr.net

Citation: Д. О. Сімкін,
О. М. Петухова (2023).
Використання аутсорсин-
гу на підприємствах хар-
чової промисловості: тео-
рія, практика, особливос-
ті. *Наукові праці НУХТ*,
29(4), 85—94.

DOI: 10.24263/2225-2924-
2023-29-4-8

ABSTRACT

Outsourcing is a popular approach in managing food industry businesses to increase its efficiency and gain competitive advantages, which involves using the services of other companies to perform certain functions that were previously carried out by internal company departments. Outsourcing services have gained wide application due to the rapid development of information systems and technologies, globalization of the economy, digital transformation of the population, the threat of the COVID-19 pandemic, as well as military conflict. The history of outsourcing was studied. The theoretical approaches to interpreting the concept of "outsourcing" were examined, namely: functional-oriented, cooperative, and managerial approaches. Based on the researched approaches, it was proposed to consider outsourcing as a management strategy, according to which the organization delegates a certain part of business functions to a third-party firm or an individual specialist by concluding a cooperation agreement. The main directions of using outsourcing in the food industry were determined. It was established that the specifics of outsourcing in the food industry of Ukraine were related to the seasonality of production, high quality requirements for products, and the need to comply with food safety standards. The practical aspects of outsourcing application by leading companies in the food industry were studied. The main advantages and disadvantages of using outsourcing were analyzed. In theory, outsourcing has a number of advantages for companies, namely cost reduction, increased business efficiency, focus on core functions, access to knowledge and technologies. However, in practice, the use of outsourcing can be a complex process with many challenges, such as reduced control over processes, disclosure of commercial secrets, non-compliance with established quality requirements, and others. It was determined that in order to obtain a positive effect from the use of outsourcing services, the management of the enterprise should carefully weigh all the advantages and disadvantages, in order to avoid negative moments.

ВИКОРИСТАННЯ АУТСОРСИНГУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ: ТЕОРІЯ, ПРАКТИКА, ОСОБЛИВОСТІ

Д. О. Сімкін, О. М. Пєтухова

Національний університет харчових технологій

Аутсорсинг є популярним підходом в управлінні підприємствами харчової промисловості для підвищення ефективності бізнесу та досягнення конкурентних переваг. Аутсорсинг полягає у використанні послуг інших компаній для здійснення певних функцій, які раніше виконувались внутрішніми службами підприємств. Послуги аутсорсингу набули широкого застосування через стрімкий розвиток інформаційних систем і технологій, глобалізацію економіки, цифрову трансформацію населення, загрозу пандемії COVID-19 та військового конфлікту.

У статті досліджено історію розвитку аутсорсингу. Проаналізовано теоретичні підходи до трактування поняття «аутсорсинг»: функціонально-орієнтований, коопераційний та управлінський. На основі досліджених підходів запропоновано під аутсорсингом розглядати стратегію управління, за якою організація делегує певну частину бізнес-функцій сторонній фірмі або окремому спеціалісту шляхом укладення договору про співпрацю. Визначено основні напрями використання аутсорсингу на підприємствах харчової промисловості. Встановлено, що особливості аутсорсингу в харчовій промисловості України пов'язані зі специфікою цієї галузі, зокрема сезонністю виробництва, високими вимогами до якості продукції та необхідністю дотримання стандартів безпеки харчових продуктів. Досліджено практичні аспекти застосування аутсорсингу провідними компаніями, діяльність яких пов'язана з харчовою промисловістю. Проаналізовано основні переваги та недоліки використання аутсорсингу. У теорії аутсорсинг має ряд переваг для підприємств (зниження витрат, підвищення ефективності ведення бізнесу, концентрація на основних функціях та доступ до знань і технологій). Проте на практиці використання аутсорсингу може виявитися складним процесом з багатьма викликами, такими як зниження контролю над процесами, розголошення комерційної таємниці, невідповідність якості встановленим вимогам тощо. Визначено, що для отримання позитивного ефекту від використання послуг аутсорсингу керівництво підприємства повинно ретельно зважувати всі переваги та недоліки з метою уникнення негативних моментів.

Ключові слова: аутсорсинг, історія аутсорсингу, харчова промисловість, підприємствами харчової промисловості, аутсорсинг на підприємствах, оптимізація бізнес процесів.

Постановка проблеми. Виробництво харчових продуктів виступає одним із ключових елементів глобальної економіки, відіграючи важливу роль у національному господарстві кожної країни. Підприємства харчової промисловості України здійснюють свою діяльність в умовах нестабільності економічної та політичної ситуації в країні, наявності військового конфлікту, а також існуючої

загрози пандемії COVID-19. Для забезпечення підвищення ефективності ведення їх діяльності необхідним є впровадження послуг аутсорсингу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченню різноманітних питань, пов'язаних з аутсорсингом, присвячено праці як вітчизняних, так і зарубіжних вчених, серед яких варто зазначити Л. Я. Якимишина, дослідження якого були присвячено аналізу використання методу АНР в процесі прийняття управлінських рішень, пов'язаних з використанням аутсорсингу на підприємствах (Якимишин, 2014), а також В. А. Фаловича, який досліджував використання аутсорсингу під час дистрибуції харчових продуктів (Фалович, 2023). О. В. Зозульов та О. І. Микало, у свою чергу, досліджували вплив аутсорсингу на конкурентоспроможність вітчизняного бізнесу (Зозульов, & Микало, 2009), а Б. З. Цибуляк присвятив своє дослідження використанню аутсорсингових послуг для захисту інформаційних систем (Цибуляк, 2013). Д. Галлімор охарактеризував переваги та недоліки використання аутсорсингу фірмами (Gallimore, 2021), а Дж. Хейвуд дослідив можливість отримання конкурентних переваг на ринку в результаті використання аутсорсингу (Heywood, 2001).

Однак теоретичні і практичні аспекти аутсорсингу на підприємствах харчової промисловості в сучасних умовах потребують більш поглибленого вивчення.

Мета статті: узагальнення теоретичних аспектів аутсорсингу та дослідження особливостей його використання на підприємствах харчової промисловості в сучасних ринкових умовах.

Матеріали і методи. В процесі дослідження були використані історичний, аналітичний методи, а також методи дедукції, порівняння, систематизації та логічного узагальнення. Інформаційною основою слугували матеріали фахових видань, підручників, монографій, посібників.

Викладення основних результатів дослідження. Аутсорсинг — це практика наймання зовнішніх компаній або осіб для виконання робіт, які традиційно виконувалися внутрішніми працівниками. Історія аутсорсингу сягає корінням в античні часи, коли ремісники підпорядковували деякі процеси своєї роботи спеціалізованим підприємствам.

У середині XX ст. аутсорсинг зустрічався в основному у вигляді підрядних робіт, які виконувалися іншими компаніями. Однак у 1970-х роках з появою комп'ютерів і розвитком інформаційних технологій, аутсорсинг став набувати нових видів. Так, компанії почали наймати зовнішніх фахівців для обробки даних, розробки програмного забезпечення та інших інформаційних послуг. У 1990-х роках аутсорсинг набув популярності в США та Західній Європі, коли багато компаній вирішили скористатися послугами підприємств з країн Азії та Південно-Східної Європи, де праця була дешевшою. Цей процес став можливим завдяки розвитку технологій зв'язку та зниження вартості транспортних перевезень. У 2000-х роках аутсорсинг став більш розповсюдженим і в інших галузях, таких як фінансові та бухгалтерські послуги, кадрове адміністрування тощо. Зараз аутсорсинг є важливим інструментом управління бізнесом, що дає змогу компаніям зосередитися на своїх основних компетенціях і зменшити витрати.

Аутсорсинг є популярним інструментом в управлінні підприємствами харчової промисловості, оскільки цей сектор економіки має досить високу складність і

специфіку, пов'язану з виробничим процесом та потребує високої якості готової продукції.

Дослідження наукових праць вітчизняних і зарубіжних вчених показало наявність різних підходів до трактування поняття «аутсорсинг», зокрема:

- 1) функціонально-орієнтованого;
- 2) коопераційного;
- 3) управлінського.

Так, відповідно до функціонально-орієнтованого підходу, сформованого протягом минулих років на основі наявної бізнес-практики, аутсорсинг розглядають як процес передачі певного набору функцій, що виконує організація та які не є для неї основними, сторонній компанії або окремому спеціалісту. Однак таке визначення є неповним та не відповідає на запитання «Навіщо існує аутсорсинг». Відповідь на це запитання частково знаходимо у праці Дж. Хейвуда (Heywood, 2001), який розглядає аутсорсинг з точки зору коопераційного підходу, як засіб збільшення цінностей бізнесу шляхом передачі функцій окремих підрозділів організації разом з пов'язаними активами в аутсорсингову компанію, яка зобов'язується надати певні послуги визначеної якості в установлений укладеним договором термін за заздалегідь обумовленою ціною. Відповідно до коопераційного підходу, як можна побачити з визначення, аутсорсинг є різновидом взаємовигідної співпраці між окремим підприємством та аутсорсинговою компанією або стороннім спеціалістом.

Деякі науковці розглядають аутсорсинг з точки зору управлінського підходу. Відповідно, аутсорсинг виступає стратегією менеджменту, яка спрямована на оптимізацію та подальший розвиток діяльності підприємства в результаті концентрації на ключових задачах бізнесу з передачею виконання непрофільних задач стороннім особам (Микало, 2010).

Узагальнюючи розглянуті підходи, варто зазначити, що під аутсорсингом слід розглядати стратегію управління, за якою організація делегує певну частину бізнес-функцій сторонній фірмі або окремому спеціалісту шляхом укладення договору про співпрацю.

На підприємствах харчової промисловості аутсорсинг може бути корисним для покращення ефективності виробничих процесів, зниження витрат на управління, що є особливо актуальним для підприємств із сезонним виробництвом, та підвищення якості продукції. Проаналізуємо основні напрямки використання аутсорсингу в харчовій промисловості:

1. Виробництво. Підприємства харчової промисловості можуть використовувати послуги зовнішніх виробників для виготовлення деяких складових асортименту продукції або для вирішення проблем зі збільшенням обсягів виробництва за обмеженими можливостями щодо розширення діяльності, пов'язаних із закупівлею обладнання, оренди нових приміщень, збільшення штату працівників тощо.

2. Логістика. Аутсорсинг логістичних послуг може допомогти зменшити витрати на транспортування товарів, які виробляють підприємства харчової промисловості, від складів до пунктів продажу або до клієнтів, управління ланцюгом постачання, а також управління процесами повернення товарів покупцями й отриманих коштів постачальниками, складське управління, наприклад, ведення

обліку запасів на складах, підтримку необхідного їх рівня та здійснення замовлень за необхідністю тощо (Hsiao, 2009).

3. Маркетинг. Зовнішні фахівці з маркетингу можуть допомогти підприємствам харчової промисловості розробити та впровадити ефективні маркетингові стратегії для завоювання ринків збуту, збільшення продажів і залучення нових клієнтів, включаючи розробку та виконання рекламних кампаній, зокрема реклами в інтернеті, на радіо та телебаченні, забезпечення просування бренду та підтримки продажів.

4. Бухгалтерія та фінанси. Аутсорсинг бухгалтерських і фінансових послуг, у свою чергу, може допомогти підприємствам знизити витрати на управління та оподаткування. Такий вид аутсорсингу доцільно використовувати невеликим підприємствам у разі відсутності висококваліфікованих економістів.

5. IT-послуги. До 2002 р. вважалося, що послуги аутсорсингу пов'язані в більшості саме з IT-сферою (Аутсорсинг, 2008). Так, сторонні спеціалісти з IT можуть допомогти підприємствам у підтримці та розвитку комп'ютерної інфраструктури, програмного забезпечення та інших технологічних систем. Найчастіше IT-послуги пов'язані з виконанням якогось окремого проєкту, що робить не ефективним створення цілого департаменту інформаційних технологій з виплатою фіксованої заробітної плати штатним працівникам.

6. Інспекція та контроль якості. Аутсорсинг послуг інспекції та контролю якості може також бути корисним для підприємств харчової промисловості, оскільки вони мають високі вимоги до якості й безпеки своєї продукції. Відповідно, аутсорсингова компанія забезпечить надання послуг високої якості, вчасне виконання поставленого завдання, нейтральність та об'єктивність у прийнятті рішень, адже сторонні спеціалісти мають неупереджену позицію та можуть забезпечити об'єктивний контроль якості продукції. Окрім того, сторонні спеціалісти покликані забезпечити відповідність продукції вимогам стандартів якості та безпеки.

Важливо зазначити, що теоретичні питання використання аутсорсингу підприємствами харчової промисловості підкріплюються також практичними аспектами. Так, у результаті дослідження діяльності передових компаній, які функціонують у сфері харчової промисловості, було виявлено високу популярність цієї послуги. Нижче наведені деякі приклади практичного використання аутсорсингу підприємствами харчової промисловості:

1. *Nestlé*. *Nestlé* є однією із найбільших у світі компаній у галузі харчової промисловості, яка займається виробництвом харчових продуктів і напоїв. Компанія використовує аутсорсинг для виробництва деяких видів своїх продуктів, укладаючи угоди зі сторонніми пекарнями та кондитерськими фабриками. Окрім того, *Nestlé* використовує послуги компанії *Cargill* із забезпечення постачання какао-бобів для виробництва своїх шоколадних виробів. Це дає змогу *Nestlé* зосередитися на своїх основних аспектах бізнесу, таких як розробка основних видів продуктів і маркетингова діяльність. Компанія також практикує передачу ведення бухгалтерського обліку та виконання деяких фінансових послуг до спільних центрів обслуговування по всьому світу. Це дозволяє *Nestlé* централізувати свої фінансові операції та отримати вигоду від ефекту масштабу (*Nestlé's*, 2022).

2. *Nemiroff*. З метою розширення ринку збуту продукції керівництво *Nemiroff*, вітчизняного виробника алкогольної продукції, використовує аутсорсинг складського персоналу. Співробітники аутсорсингової компанії задіяні у всіх напрямках складської діяльності *Nemiroff*, зокрема у процесах розвантаження, завантаження, стікування продукції, комплектації замовлень тощо (Аутсорсинг, 2022).

3. *PepsiCo*. *PepsiCo* — ще один з провідних гравців у галузі харчової промисловості, що використовує аутсорсинг для виробництва своїх продуктів, таких як напої, снеки тощо. Компанія також використовує аутсорсинг для розробки програмного забезпечення й технологій, передає свою дистрибуцію та логістику стороннім постачальникам послуг логістики, таким як XPO Logistics та DHL Supply Chain, що допомагає *PepsiCo* більш якісно управляти бізнесом, оптимізувати ланцюжок поставок і знизити витрати на транспортування (DHL, 2005).

4. *Coca-Cola*. *Coca-Cola* — це американська компанія, яка займається виробництвом концентратів, безалкогольних напоїв і сиропів. Протягом останніх років компанія ефективно застосовує послуги аутсорсингу, зокрема здійснила передачу функцій розробки та досліджень стороннім компаніям, що дає змогу *Coca-Cola* отримати доступ до спеціалізованих експертних знань у розробці продуктів, органолептичному тестуванні й аналізі споживачів (Elmore, 2014). Також, *Coca-Cola* передала деякі свої операції з розливу стороннім виробникам, таким як Swire Pacific (Swire Coca-Cola, 2023), що керує розливними заводами в Китаї, та Arca Continental, що, відповідно, керує заводами в Мексиці та Південній Америці. Окрім того, *Coca-Cola* передала свої ІТ-послуги IBM у рамках угоди, відповідно до якої IBM зобов'язується надавати такі послуги, як Help Desk Support, розробка додатків і обслуговування глобальної ІТ-інфраструктури *Coca-Cola* (Аутсорсинг бізнес-процесів, 2021).

5. *McCormick & Company*. *McCormick & Company* — це американська компанія харчової промисловості, що займається виробництвом, продажем і розповсюдженням спецій, суміші приправ, прянощів та іншої відповідної продукції для роздрібних торговельних точок, виробників продуктів харчування та підприємств громадського харчування. Керівництво компанії доручає закупівлю трав і спецій аутсорсинговим компаніям по всьому світу. Так *McCormick & Company* отримує доступ до високоякісних інгредієнтів за нижчою ціною (McCormick, 2022).

6. *Tyson Foods*. *Tyson Foods* — це компанія з виробництва м'яса та птиці. Керівництво компанії доручає розробку та виробництво своєї упаковки аутсорсинговим компаніям. Це дає змогу *Tyson Foods* створювати функціональну та привабливу упаковку, яка відповідає нормативним вимогам. Окрім того, компанія звернулась до послуг стороннього виконавця щодо реалізації окремих ІТ-послуг. На жаль, таке рішення призвело до скорочення штатного персоналу більше ніж на 300 осіб в рамках процесу реструктуризації бізнесу. Однак для *Tyson Foods* використання відповідних послуг аутсорсингу є ефективним способом скорочення витрат і кроком до більш стрімкого вдосконалення цифрової трансформації та, відповідно, до підвищення конкурентоспроможності бізнесу (Gatling, 2020).

7. *Campbell Soup Company*. *Campbell Soup Company* або *Campbell's* — ще одна американська компанія, яка суттєво скоротила затрати на штатний персонал,

застосовувавши послуги аутсорсингу. Компанія займається виробництвом консервованих супів і закусок. Керівництво компанії доручає свою маркетингову діяльність стороннім виконавцям — рекламним агентствам BBDO і Mindshare. Це дає змогу Campbell Soup Company отримати доступ до спеціалізованих експертних знань у сфері брендингу та цифрового маркетингу (Pierce, 2020).

8. *General Mills*. Будучи мультинаціональною харчовою компанією, яка виробляє різноманітні популярні бренди, зокрема Cheerios, Betty Crocker і Pillsbury, General Mills використовує аутсорсинг для полегшення процесу менеджменту певними аспектами свого бізнесу. Окрім частини виробничих процесів, General Mills також передає в аутсорсинг та інші ділянки бізнесу, такі як IT-підтримка, бухгалтерський облік і маркетинг. Співпрацюючи зі сторонніми компаніями, які спеціалізуються в цих сферах, General Mills може отримати доступ до висококваліфікованих підрядників, а також певних ресурсів, які можуть не бути всередині компанії (General Mills, 2020).

Окрім того, багато підприємств харчової промисловості доручають перевірку безпеки харчових продуктів стороннім лабораторіям, таким як Eurofins (Eurofins Scientific, 2022), які спеціалізуються на тестуванні на патогени та забруднювачі. Це дає змогу підприємствам харчової промисловості гарантувати безпеку та якість своєї продукції без необхідності інвестувати в дороге випробувальне обладнання і наймати штатних працівників.

Як можна побачити, послуги аутсорсингу користуються значним попитом на ринку, що зумовлено наявністю ряду переваг. Так, до основних переваг використання аутсорсингу підприємствами харчової промисловості можна віднести:

1. Зниження витрат. Використовуючи послуги аутсорсингу підприємства мають можливість знизити витрати, пов'язані з виконанням певних завдань, оскільки, по-перше, сторонній виконавець може запропонувати більш ефективне рішення наявної проблеми, по-друге, підприємство не витрачає час на пошук спеціаліста, тобто відбувається мінімізація витрат HR-відділу. Окрім того, розмір витрат на послуги аутсорсингу передусім залежить від обсягу виконаних робіт, тоді як оплата праці штатного персоналу здійснюється за весь час перебування співробітника на робочому місці, а також включає в себе оплату лікарняних, відпусток, нарахування премій, сплату інших соціальних внесків (Колодзінський, 2022).

2. Підвищення рівня кваліфікації. Аутсорсинг покликаний допомогти підприємствам харчової промисловості отримати доступ до висококваліфікованих фахівців і професіоналів у різних галузях. Це дає змогу керівництву підприємств розширити свій світогляд та використовувати передові технології та методи у веденні бізнесу.

3. Фокусування на ключових аспектах бізнесу. Аутсорсинг допомагає підприємствам зосередитись на своїх ключових аспектах та основному бізнесі, не витрачаючи час та ресурси на виконання допоміжних функцій (Козачко, 2008).

4. Гнучкість. Аутсорсинг дає змогу підприємствам швидко адаптуватися до умов ринку і попиту, що змінюються, а також легко масштабувати свою діяльність при необхідності.

5. Скорочення часу виконання завдань. Використання послуг сторонніх виконавців дає змогу скоротити час виконання поставлених завдань, адже аутсорсингові компанії використовують у своїй діяльності передові технології, а сторонні виконавці виступають професіоналами в обраній галузі, що призводить до оптимізації процесів і підвищення ефективності функціонування підприємств харчової промисловості.

Отже, аутсорсинг може бути корисним для підприємств, які не мають достатнього досвіду чи ресурсів для виконання певних функцій внутрішніми силами. Звертаючись до зовнішніх постачальників, підприємства харчової промисловості можуть забезпечити виконання другорядних функцій на високому рівні, що допоможе збільшити продажі та підвищити впізнаваність бренду.

Однак, незважаючи на наявність ряду переваг, аутсорсинг у харчовій промисловості може стикатися з рядом проблем:

1. Якість продукції. Підприємства харчової промисловості можуть зіткнутися з падінням якості продукції, адже, по-перше, у разі відсутності відповідних домовленостей щодо якості у договорі про співпрацю, сторонній виконавець не зобов'язаний виконати поставлену задачу найкращим способом і досягти найкращого результату. Крім того, аутсорсингові компанії можуть не відповідати вимогам стандартів якості та безпеки продукції. У свою чергу, передаючи в стороннє управління частину функцій, підприємство втрачає контроль над процесом виробництва, зберігання та/або транспортування, що може призвести до падіння якості продукції.

2. Надійність. Надійність аутсорсингової компанії або окремого стороннього виконавця може також стати проблемою у разі невідповідності заявленим характеристикам. Так, вибір аутсорсингової компанії або стороннього спеціаліста найчастіше базується на оцінці наявних відгуків. У сучасному світі існує можливість підробки відповідних відгуків за допомогою спеціальних програм. Відповідно, невдалий сторонній постачальник послуг може надати неякісні послуги, відтермінувати час їх виконання, або виявитися шахраєм. Це призведе до простоїв виробництва, падіння ефективності бізнесу та конкурентоспроможності.

3. Конфіденційність даних. Оскільки під час використання послуг аутсорсингу підприємства харчової промисловості передають конфіденційну інформацію стороннім виконавцям, можуть виникати такі ризикові події:

- недостатній контроль: підприємство може не мати достатнього контролю над тим, як аутсорсингова компанія або сторонній спеціаліст обробляє його дані, що може призвести до недостатнього захисту конфіденційної інформації;
- несанкціонований доступ: сторонній виконавець може надати доступ до даних підприємства харчової промисловості стороннім особам без дозволу керівництва підприємства;
- використання даних для власних цілей: сторонній виконавець може використовувати конфіденційну інформацію підприємства харчової промисловості для власних цілей;
- втрата даних: якщо сторонній виконавець не забезпечує достатнього рівня безпеки даних, то може виникнути ризик втрати даних шляхом отримання зловмисниками доступу до них, що, у свою чергу, може призвести до негативних наслідків для підприємства харчової промисловості (Саміло, & Купчак, 2022).

Відповідно, для зменшення ризику порушення конфіденційності даних при використанні аутсорсингу підприємства харчової промисловості повинні встановлювати детальні угоди з аутсорсинговими компаніями або окремими сторонами виконавцями та забезпечувати, щоб вони дотримувалися вимог щодо захисту даних, включаючи захист від несанкціонованого доступу, витоку даних та використання їх для власних цілей. Крім того, варто регулярно проводити перевірку безпеки даних.

4. Вартість. Ціни на послуги аутсорсингу для підприємств харчової промисловості іноді можуть виявитись значно вищими, ніж витрати на виконання відповідних функцій власними силами. Крім того, вартість може збільшуватися через інфляцію, зміну курсу валют, монополістичне становище аутсорсингової компанії на ринку та інші фактори. Варто зазначити, що вартість послуг аутсорсингу також може відрізнятися залежно від регіону та функцій, що передаються на аутсорсинг.

5. Вплив на репутацію. Якщо кінцевий результат, отриманий від аутсорсингової компанії, не відповідає вимогам якості та безпеки, це може суттєво пошкодити репутацію підприємства.

Висновки

Аутсорсинг у сучасному вигляді — це інноваційний тренд, який широко використовується підприємствами всього світу, зокрема підприємствами харчової промисловості. Завдяки використанню послуг аутсорсингових компаній можливо досягти зниження витрат на оплату праці, програмне забезпечення та обладнання, що може бути важливим для підприємств з обмеженими бюджетами, отримати доступ до експертів зі специфічних галузей для підвищення конкурентоспроможності, а також більше зосередитися на основній діяльності. Проте аналіз недоліків аутсорсингу показав важливість порівняння всіх позитивних і негативних аспектів перед тим, як приймати рішення про його використання в кожному конкретному випадку.

Перспективою подальших досліджень є більш глибоке вивчення особливостей використання аутсорсингу підприємствами харчової промисловості та зарубіжного досвіду практичних аспектів використання аутсорсингу для впровадження найбільш вдалих практик у діяльність вітчизняних виробників харчової промисловості.

Література

Аутсорсинг бізнес-процесів (2021). Взято з: https://www.wiki-data.uk-ua.nina.az/Аутсорсинг_бізнес-процесів.html.

Аутсорсинг как вид бизнеса (2008). Взято з: <http://parusconsultant.com/?doc=04QPL6A87F>.

Аутсорсинг складського і торгового персоналу (2022). Взято з: <https://haski.ua>.

Зозульов О. В., Микало О. І. (2009). Аутсорсинг як інструмент підвищення конкурентоспроможності вітчизняних підприємств в умовах глобалізації. *Економіка України*, 8(573), 16—24.

Козачко, М. В. (2008). *Аутсорсинг як прикладний інструмент розвитку підприємства*. Формування ринкової економіки розвитку підприємства: збірник наукових праць. Київ: КНЕУ.

Колодзінський, Б. П. (2022). *Переваги та недоліки використання аутсорсингу на підприємстві*, Етапи змін в економіці: наука, інновації, бізнесрозвиток: збірник тез наукових робіт

учасників Всеукраїнської науково-практичної конференції для студентів, аспірантів та молодих учених. Київ: Аналітичний центр «Нова Економіка».

Микало, О.І. (2010). Підходи до визначення терміна «аутсорсинг». *Менеджмент організації*, 111—115.

Саміло, А., Купчак, М. (2022). *Основні переваги та недоліки впровадження аутсорсингових та аутстафінгових послуг в Україні*, Збірник тез IV Міжнародної науково-практичної конференції «Економіко-соціальні відносини в галузі фізичної культури та сфері обслуговування». Львів: ЛДУФК.

Фалович В. А. та ін. (2023). *Сучасний маркетинг: візія, технології, інновації*. Тернопіль: «Бескиди».

Цибуляк Б. З. (2013). *Використання аутсорсингу для захисту інформаційних систем*. Львів: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності.

Якимішин Л. Я. (2014). Метод ієрархій в обґрунтуванні прийняття рішення підприємством про аутсорсинг. *Економічний форум*, 1/2014. Взято з: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWLOAD=1&Image_file_name=PDF/ecfor_2014_1_33.pdf.

DHL wins logistics contract from pepsico's german unit (2005). Взято з: <https://postandparcel.info/12400/news/dhl-wins-logistics-contract-from-pepsicos-german-unit/>.

Elmore, B. (2014). How Coca-Cola built a sugary empire, by outsourcing as much as possible. Взято з: <https://fortune.com/2014/11/25/coca-cola-capitalism/>.

Eurofins Scientific: Worldwide laboratory testing services (2022). Взято з: <https://www.eurofins.com/>.

Gallimore D. (2021). *The essentials of outsourcing*. Взято з: <https://www.forbes.com/sites/forbesbusinesscouncil/2021/09/14/the-essentials-of-outsourcing/?sh=3a0a86063795>.

Gatling, P. (2020). Tyson Foods outsourcing will «displace» 330 tech employees. Взято з: <https://talkbusiness.net/2020/02/tyson-foods-outsourcing-will-displace-330-tech-employees/>.

General Mills Adds More Outsourcing Partners as It Aims to Meet Packaged-Food Demand (2020). Взято з: <https://www.wsj.com/articles/general-mills-adds-more-outsourcing-partners-as-it-aims-to-meet-packaged-food-demand-11595842200>.

Heywood J. B. (2001). *The Outsourcing Dilemma: The Search for Competitiveness Financial Times*. Prentice Hall, 1st edition.

Hsiao, Hsin-I (2009). *Logistics outsourcing in the food processing industry. A study in the Netherlands and Taiwan*. Taiwan.

McCormick & Company. (2022). Взято з: <https://www.mccormickcorporation.com/>.

Nestlé's Outsourcing Issues Informative Essay (2022). Взято з: <https://ivypanda.com/essays/nestles-outsourcing-issues/>.

Pierce, F. (2020). Campbell Soup cuts jobs, eyes supply chain improvement. Взято з: <https://supplychaindigital.com/procurement/campbell-soup-cuts-jobs-eyes-supply-chain-improvement>.

Swire Coca-Cola (2023). Взято з: <https://www.swirecocacola.com/en/index.html>.

УДК 621.313

ELECTROMAGNETIC FIELD IN ELECTRODYNAMIC DEVICES OF COMPLEX DESIGN

G. Tsygankova

National University of Food Technologies

Key words:

*Electrodynamic brake
Brake electromagnetic
torque
Current density
Magnetic permeability
Losses*

Article history:

Received 05.07.2023
Received in revised form
19.07.2023
Accepted 01.08.2023

Corresponding author:

G. Tsygankova

E-mail:

tsgk.anna@gmail.com

Citation: Г. А. Циганкова
(2023). Електромагнітне
поле в електродинаміч-
них пристроях складної
конструкції. *Наукові
праці НУХТ*, 29(4), 95—
106.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2023-29-4-9

ABSTRACT

The article presents a theoretical study of the electromagnetic field of a disk-shaped electrodynamic brake. The design features of such devices require theoretical and computational studies. Due to the interaction of the magnetic field and eddy currents, the electromagnetic moment of the electrodynamic brake was created, which corresponded to the moment of the tested engine, which made it possible to check the compliance of the mechanical characteristics of the engine with its technical task. An energy approach was used to find the electromagnetic moment, the braking electromagnetic moment was found due to the power of losses from eddy currents in the disc. At the same time, losses in steel due to remagnetization and losses outside the operating zone were neglected, since a stationary magnetic field was not excited in a real electrodynamic brake outside the operating zone. The loss power was calculated firstly in an elementary flat volume, and then over the entire thickness of the disc. The electromagnetic torque was found as a fraction of the power loss divided by the angular velocity of the disc rotation.

A new mathematical dependence for the electromagnetic moment of the electrodynamic brake was obtained, which made it possible to calculate the electromagnetic moment depending on the parameters of the disc material and the dimensions of its active part, and to improve the design methodology. A comparison with experimental data was made and it was shown that the values of the electromagnetic moment, calculated according to the obtained formula, gave a satisfactory agreement with the experimental data. The deviation of the experimental values from the calculated values did not exceed 10%. The effect of magnetic permeability on the magnitude of the electromagnetic moment of a disc-shaped electrodynamic brake under certain assumptions was considered.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-9

ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ В ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ ПРИСТРОЯХ СКЛАДНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Г. А. Циганкова

Національний університет харчових технологій

У статті проведено теоретичне дослідження електромагнітного поля дископодібного електродинамічного гальма. Конструктивні особливості таких пристроїв потребують теоретичних і розрахункових досліджень. За рахунок взаємодії магнітного поля і вихрових струмів створюється електромагнітний момент електродинамічного гальма, який відповідає моменту випробуваного двигуна, що надає можливість перевірити відповідність механічної характеристики двигуна його технічному завданню. Для знаходження електромагнітного моменту застосовано енергетичний підхід, гальмівний електромагнітний момент знайдено через потужність втрат від вихрових струмів у диску. При цьому втратами в сталі на перемагнічування та втратами за межами робочої зони нехтуємо, оскільки в реальному електродинамічному гальмі за межами робочої зони не збуджується стаціонарне магнітне поле. Потужність втрат розраховано спочатку в елементарному плоскому об'ємі, а потім — по всій товщині диска. Електромагнітний момент знайдено як частку від ділення потужності втрат і кутової швидкості обертання диска.

Отримано нову математичну залежність для електромагнітного моменту електродинамічного гальма, яка дає змогу розрахувати електромагнітний момент залежно від параметрів матеріалу диска та розмірів його активної частини, і забезпечує можливість подальшого вдосконалення методики проектування. Проведено порівняння з експериментальними даними і показано, що значення електромагнітного моменту, розраховані за отриманою формулою, дають задовільний збіг з експериментальними даними. Відхилення експериментальних значень від розрахованих не перевищує 10%. Розглянуто вплив магнітної проникності на величину електромагнітного моменту дископодібного електродинамічного гальма при певних припущеннях.

Ключові слова: електродинамічне гальмо, гальмівний електромагнітний момент, густина струму, магнітна проникність, втрати.

Постановка проблеми. Усі технологічні процеси на підприємствах харчових виробництв неперервного типу реалізуються з використанням електротехнічних пристроїв, які пов'язуються між собою інформаційними, електричними та іншими зв'язками, що в результаті утворює цілісний електротехнічний комплекс. Ефективність роботи електротехнічного комплексу харчових виробництв значною мірою визначається надійністю електротехнічних засобів (електроприводів, електродвигунів, частотних перетворювачів, регулюючих органів тощо), що утворюють комплекс. Вихід із ладу електродвигуна призводить до простою технологічного обладнання та зменшення якості продукції, що, як наслідок, спричиняє збільшення фінансових витрат підприємства. Для випробувань двигунів з метою контролю їх якості необхідними бувають гальмівні пристрої для їх навантаження.

Серед таких пристроїв перспективними є дископодібні електродинамічні гальма, які мають просту конструкцію і технологію виготовлення, навантажують досліджуваний двигун гальмівним моментом і дають змогу виміряти величину цього моменту. Найважливішою перевагою електродинамічного способу гальмування є відсутність механічного контакту між частинами машин.

Електромагнітні процеси в складних областях електродинамічних дископодібних пристроїв не вивчені повною мірою. Розвиток сучасних комп'ютерних технологій і програмних засобів сприяє чисельному моделюванню електромагнітних процесів. Водночас знаходження аналітичного рішення розподілу магнітної індукції та густини струмів дає змогу аналізувати й оцінювати ефективність деформації стаціонарного магнітного поля, створеної конструктивними особливостями магнітної системи, та перевіряти чисельні розрахунки. Оскільки розподіл магнітного поля у робочому проміжку електродинамічного гальма суттєво впливає на його робочі параметри і характеристики, актуальним є проведення досліджень електромагнітного поля в повітряному проміжку і роторі, розподілу вихрових струмів у роторі та умов для створення гальмівного моменту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки все ширше застосування знаходять різного роду дископодібні електродинамічні пристрої. Задача розрахунку магнітних полів дископодібних електродинамічних пристроїв із зубцево-пазовою магнітною системою, зокрема й електродинамічних гальм, є важливою і актуальною.

Нові методи розв'язання крайових задач електромагнітного поля в кусочно-неоднорідних областях запропоновано в (Титко, 1994), де розглянуто їх застосування до задач досліджень ефективності екранування незамкнутими структурами.

У праці (Карлов, Кондратенко, Кришук, & Ращепкін, 2014) приділено увагу дослідженню магнітного поля дугостаторного асинхронного двигуна з дисковим неферомагнітним ротором, розроблено аналітичний метод розрахунку магнітного поля, усередненого по висоті повітряного проміжку торцевого дугостаторного асинхронного двигуна, з урахуванням лінійної швидкості обертання ротора при заданих зосереджених на поверхні магнітопроводів без паїв струмових шарів активних і лобових частин обмоток статорів. Питання про розподіл магнітного поля по всьому повітряному проміжку та при наявності дискового феромагнітного ротора потребує подальшого дослідження.

Задача визначення розподілу векторного магнітного потенціалу в прямокутній області зі струмом і зоною з постійною магнітною проникністю, що обмежена середовищем із нескінченною магнітною проникністю, розглядається в праці (Загірняк, Бранспіза, & Вельченко, 2012). Рівняння Пуассона і Лапласа розв'язуються методом відокремлення змінних з урахуванням граничних умов на межі розподілу різних зон. Отримано аналітичні вирази для векторних потенціалів у цих зонах.

У працях зарубіжних науковців (Profumo, Tenconi, Zhang, & Cavagnino, 2000; Sahin, Tuckey, & Vandenput, 2001; Wang, & Kamper, 2002; Parag R. Upadhyay, & K. R. Rajagopal, 2006; Hendershot, & Miller, 2010) досліджуються електромагнітні процеси в електричних машинах з постійними магнітами, які є окремим типом явно полюсних електричних машин. Основна їх перевага полягає в тому, що в таких машинах не треба створювати поле збудження за допомогою обмоток, іншими словами, витрачати додаткову енергію, а також, що особливо важливо,

підводити цю енергію ззовні. Аналіз літературних джерел свідчить про великий інтерес дослідників до цього типу машин як у нашій країні, так і за кордоном. Крім того, іноземні дослідники надають перевагу чисельним методам, користуючись, як правило, комерційними пакетами програм.

У праці (Васьковський, & Гайдено, 2018) методами математичного моделювання досліджено електромагнітні процеси в синхронних машинах із постійними магнітами. Розроблено коло-польову математичну модель, в якій строго враховано обертання ротора і на прикладі частотно-керованого тягового синхронного двигуна з постійними магнітами отримано часові залежності його струмів та електромагнітного моменту при різних варіантах живлення.

У праці (Рашепкін, Кондратенко, Карлов, & Кришук, 2022) запропоновано метод визначення електричних параметрів заступної схеми заміщення і електромагнітних та силових характеристик індукційної системи зі спіралеподібною обмоткою і феромагнітним екраном для оброблення немагнітних тонколистових металевих смуг. Електромагнітні параметри індуктора визначаються комп'ютерним моделюванням з використанням методу скінченних елементів, враховуючи попередньо задане значення величини магнітної проникності феромагнітного екрану та двох марок алюмінієвих сплавів.

Розподіл густини імпульсного індукованого струму в електропровідному листі та визначення необхідних параметрів імпульсу струму контуру індуктора задля реалізації в металі «електропластичного» ефекту здійснено в статті (Васецький, & Кондратенко, 2020). На основі аналітичного розв'язку загальної задачі визначення електромагнітного поля проведено розрахунки із застосуванням точного і наближеного методів розрахунку тривимірного електромагнітного поля для імпульсу струму кругового контуру радіуса R , розташованого в площині, перпендикулярній до межі розподілу середовищ.

Можна відмітити наявність незначної кількості публікацій, присвячених дослідженню електромагнітного поля в дискових електропровідних середовищах, електромагнітні процеси в циліндричних машинах досліджені більш детально.

Метою дослідження є розрахунок гальмівного електромагнітного моменту електродинамічного гальма з огляду на потужність втрат від вихрових струмів у диску, порівняння з експериментальними даними та обґрунтування доцільності використання отриманих результатів при проєктуванні двигунів.

Матеріали і методи. Використано методи теорії електромагнітного поля і математичної фізики, ґрунтовані на розв'язанні диференціальних рівнянь електромагнітного поля в активній зоні електродинамічного гальма. Гальмівний електромагнітний момент знайдено через потужність втрат від вихрових струмів у диску, нехтуючи втратами в сталі на перемагнічування та втратами за межами робочої зони, оскільки в реальному електродинамічному гальмі за межами робочої зони не збуджується стаціонарне магнітне поле.

Викладення основних результатів дослідження. Розглядається електродинамічне гальмо з електропровідним ротором-диском радіуса r і товщиною d , що обертається в стаціонарному магнітному полі з індукцією B навколо осі OZ з кутовою швидкістю ω на відстані $\frac{d_z}{2}$ від зубців магнітопроводу індуктора (рис. 1).

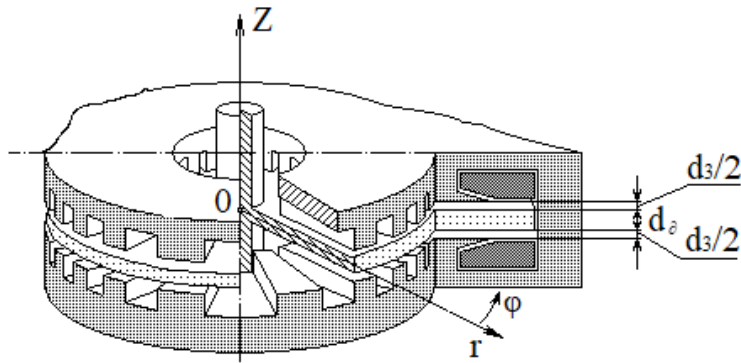


Рис. 1. Схема розташування елементів електродинамічного гальма

Задача полягає у знаходженні аналітичних залежностей електромагнітного моменту електродинамічного гальма від розмірів, параметрів матеріалу ротора та індукції в повітряному проміжку.

Скористаємось знайденим у (Циганкова, 2018) значенням гармонічної складової густини струму δ_p . Потужність втрат, яка пропорційна квадрату модуля густини струму, знайдемо спочатку в елементарному плоскому об'ємі, а потім — по всій товщині диска.

Для цього виділимо в дисковому роторі кільцевий елементарний об'єм розміром $2\pi r \delta r \delta z$ на відстані r та z від відповідних осей в тілі диска. Потужність втрат ∂P в цьому об'ємі визначається квадратом діючого значення густини струму, поділеному на електричну провідність і помножену на об'єм. Діюче значення густини струму менше амплітудного в $\sqrt{2}$ раз, а його квадрат відповідно менший в два рази добутку спряжених значень комплексної амплітуди радіальної компоненти вектора густини струму:

$$\partial P = \frac{1}{2\sigma} \delta_p \bar{\delta}_p$$

або

$$\partial P = \frac{1}{2\sigma} (\dot{\delta}_{\text{повпр}} \cdot \bar{\delta}_{\text{повпр}} + \dot{\delta}_{\text{повпр}\varphi} \cdot \bar{\delta}_{\text{повпр}\varphi}) \cdot \dot{F}(z) \cdot \bar{F}(z) \cdot 2\pi r \delta r \delta z, \quad (1)$$

де $\dot{\delta}_{\text{повпр}} \cdot \bar{\delta}_{\text{повпр}}$ — добуток спряжених значень радіальної компоненти густини струму на бокових поверхнях диска; $\dot{\delta}_{\text{повпр}\varphi} \cdot \bar{\delta}_{\text{повпр}\varphi}$ — добуток спряжених значень компоненти густини струму по кутовій координаті на бокових поверхнях диска; $\dot{F}(z) \cdot \bar{F}(z)$ — добуток комплексної функції розподілу густини струму по осевій координаті та її спряженого значення.

Знайдемо добуток спряжених значень радіальної компоненти вектора густини струму:

$$\dot{\delta}_{\text{повпр}} \cdot \bar{\delta}_{\text{повпр}} = \frac{(\sigma \omega r B_{\text{срз}})^2}{(1 + Qr^2 s)^2 + (Qr^2 m)^2}, \quad (2)$$

де

$$Q = \frac{2\mu_0}{p^2 \mu d_{\text{екв}}}; \quad s = \frac{\left(1 - 2e^{-\frac{d_\partial}{u}} \sin\left(\frac{d_\partial}{u}\right) - e^{-\frac{2d_\partial}{u}}\right)}{1 + 2e^{-\frac{d_\partial}{u}} \cos\frac{d_\partial}{u} + e^{-\frac{2d_\partial}{u}}};$$

$$m = \frac{\left(1 + 2e^{-\frac{d_\partial}{u}} \sin\left(\frac{d_\partial}{u}\right) - e^{-\frac{2d_\partial}{u}}\right)}{1 + 2e^{-\frac{d_\partial}{u}} \cos\frac{d_\partial}{u} + e^{-\frac{2d_\partial}{u}}};$$

p — число пар полюсів робочої гармонічної складової магнітного поля в зазорі електродинамічного гальма; d_∂ — товщина диска; $d_{\text{екв}}$ — еквівалентний зазор між сторонами індуктора електродинамічного гальма; μ_0 — магнітна проникність повітря; μ — магнітна проникність диска; σ — електропровідність матеріалу диска; ω — кутова швидкість обертання диска; u — глибина проникнення змінного електромагнітного поля в матеріал диска; $\dot{B}_{\text{срз}}$ — гармонічна складова вектора магнітної індукції стаціонарного магнітного поля.

Введемо позначення: $A = (\sigma \omega B_{\text{срз}})^2$; $a = Q^2(s^2 + m^2)$; $b = 2Qs$.

Тоді можна записати:

$$\dot{\delta}_{\text{повпр}} \cdot \bar{\delta}_{\text{повпр}} = \frac{Ar^2}{ar^4 + br^2 + 1}. \quad (3)$$

Знайдемо добуток спряжених значень комплексних амплітуд компоненти вектора густини струму по кутовій координаті на бокових поверхнях диска:

$$\dot{\delta}_{\text{повпр}\varphi} \bar{\delta}_{\text{повпр}\varphi} = \frac{1}{p^2} \frac{4Ar^2}{(ar^4 + br^2 + 1)^2}. \quad (4)$$

Підставивши (3) та (4) в (1), отримаємо:

$$\partial P = \frac{\pi}{2\sigma} \left(\frac{Ar^2}{ar^4 + br^2 + 1} + \frac{1}{p^2} \frac{4Ar^2}{(ar^4 + br^2 + 1)^2} \right) \cdot \dot{F}(z) \cdot \bar{F}(z) \cdot 2r \partial r \partial z. \quad (5)$$

Знайдемо потужність втрат в елементарному плоскому кільцевому об'ємі з внутрішнім радіусом — r_1 , зовнішнім радіусом — r_2 , товщиною — ∂z :

$$\partial P_s = \int_{r_1}^{r_2} \partial P dr.$$

Введемо нову змінну $x = r^2$, $\partial x = 2r \partial r$, тоді

$$\partial P = \frac{\pi}{2\sigma} \left(\frac{Ax}{ax^2 + bx + 1} + \frac{1}{p^2} \frac{4Ax}{(ax^2 + bx + 1)^2} \right) \cdot \dot{F}(z) \cdot \bar{F}(z) \cdot \partial x \partial z, \quad (6)$$

$$\partial P_S = \frac{\pi}{2\sigma} A \dot{F}(z) \cdot \bar{F}(z) \partial z \cdot \int_{x_1=r_1^2}^{x_2=r_2^2} \left(\frac{x}{ax^2 + bx + 1} + \frac{1}{p^2} \frac{4x}{(ax^2 + bx + 1)^2} \right) dx. \quad (7)$$

Оскільки в нашому випадку $4a > b^2$,

$$\text{то } \sqrt{4a - b^2} = 2 \frac{2\mu_0}{p^2 \mu d_{\text{екв}}} \left[1 - \sqrt{2} e^{-\frac{d_\partial}{u}} \cos \left(\frac{d_\partial}{u} + \frac{\pi}{4} \right) \right] = Qm, \text{ тоді інтеграли знахо-}$$

дяться:

$$\begin{aligned} \int_{x_1}^{x_2} \frac{x dx}{ax^2 + bx + 1} &= \frac{1}{2a} \ln \frac{ar_2^4 + br_2^2 + 1}{ar_1^4 + br_1^2 + 1} - \frac{b}{2a} \frac{2}{\sqrt{4a - b^2}} \left(\arctg \frac{2ar_2^2 + b}{\sqrt{4a - b^2}} - \arctg \frac{2ar_1^2 + b}{\sqrt{4a - b^2}} \right), \\ \int_{x_1}^{x_2} \frac{x dx}{(ax^2 + bx + 1)^2} &= \frac{br_1^2 + 2}{(4a - b^2)(ar_1^4 + br_1^2 + 1)} - \frac{br_2^2 + 2}{(4a - b^2)(ar_2^4 + br_2^2 + 1)} - \\ &- \frac{b}{(4a - b^2)\sqrt{4a - b^2}} \left(\arctg \frac{2ar_2^2 + b}{\sqrt{4a - b^2}} - \arctg \frac{2ar_1^2 + b}{\sqrt{4a - b^2}} \right) \end{aligned}$$

Для визначення потужності втрат по всій товщині диска необхідно проінтегрувати потужність втрат в елементарному плоскому об'ємі по осевій координаті

$$\text{від } z = -\frac{d_\partial}{2} \text{ до } z = \frac{d_\partial}{2} :$$

$$P = \int_{-\frac{d_\partial}{2}}^{\frac{d_\partial}{2}} \partial P_S dz.$$

Для цього знайдемо добуток спряжених функцій розподілу густини струму вповдовж осової координати Z . Оскільки функція розподілу густини струму вповдовж осової координати Z (Циганкова, 2018) має значення

$$\dot{F}(z) = \frac{e^{\dot{k}\left(z - \frac{d_\partial}{2}\right)} + e^{-\dot{k}\left(z + \frac{d_\partial}{2}\right)}}{1 + e^{-\dot{k}d_\partial}},$$

то, підставивши значення $\dot{k} = \frac{1+j}{u}$, отримаємо:

$$\dot{F}(z) \cdot \bar{F}(z) = \frac{e^{2\left(\frac{z}{u} - \frac{d_\partial}{2u}\right)} + 2e^{-\frac{d_\partial}{u}} \cos 2\frac{z}{u} + e^{-2\left(\frac{z}{u} + \frac{d_\partial}{2u}\right)}}{1 + 2e^{-\frac{d_\partial}{u}} \cos \frac{d_\partial}{u} + e^{-2\frac{d_\partial}{u}}}. \quad (8)$$

Знайдемо інтеграл цього добутку по осевій координаті z від $-\frac{d_\partial}{2}$ до $\frac{d_\partial}{2}$:

$$\int_{-\frac{d_\partial}{2}}^{\frac{d_\partial}{2}} \dot{F}(z) \cdot \bar{F}(z) \partial z = \frac{u \left(1 - e^{-2\frac{d_\partial}{u}} + 2e^{-\frac{d_\partial}{u}} \sin \frac{d_\partial}{u} \right)}{1 + 2e^{-\frac{d_\partial}{u}} \cos \frac{d_\partial}{u} + e^{-2\frac{d_\partial}{u}}} = um. \quad (9)$$

Тоді потужність втрат по всій товщині робочої зони диска дорівнює:

$$P = \frac{\pi A}{2\sigma} u \cdot m \cdot \left[\frac{1}{2a} \ln \frac{ar_2^4 + br_2^2 + 1}{ar_1^4 + br_1^2 + 1} - \frac{2b}{\sqrt{4a - b^2}} \left(\frac{1}{2a} + \frac{4}{p^2} \frac{1}{(4a - b^2)} \right)^* \right] \cdot \left[\arctg \frac{2ar_2^2 + b}{\sqrt{4a - b^2}} - \arctg \frac{2ar_1^2 + b}{\sqrt{4a - b^2}} \right] + \frac{4}{p^2} \frac{1}{(4a - b^2)}^* \cdot \left[\frac{br_1^2 + 2}{(ar_1^4 + br_1^2 + 1)} - \frac{br_2^2 + 2}{(ar_2^4 + br_2^2 + 1)} \right]. \quad (10)$$

Електромагнітний момент знайдемо, поділивши потужність втрат на кутову швидкість $M_{em} = \frac{P}{\omega}$ та врахувавши $\frac{\pi Au}{2\sigma} = \frac{\pi u}{2\sigma} (\sigma \omega B_{cpz})^2 = \frac{1}{2} \pi \sigma \omega^2 u B_{cpz}^2$. У результаті отримаємо:

$$M_{em} = \frac{\pi \sigma \omega B_{cpz}^2}{2} um \cdot \left[\frac{1}{2a} \ln \frac{ar_2^4 + br_2^2 + 1}{ar_1^4 + br_1^2 + 1} - \frac{2b}{\sqrt{4a - b^2}} \left(\frac{1}{2a} + \frac{4}{p^2} \frac{1}{(4a - b^2)} \right)^* \right] \cdot \left[\arctg \frac{2ar_2^2 + b}{\sqrt{4a - b^2}} - \arctg \frac{2ar_1^2 + b}{\sqrt{4a - b^2}} \right] + \frac{4}{p^2} \frac{1}{(4a - b^2)}^* \cdot \left[\frac{br_1^2 + 2}{(ar_1^4 + br_1^2 + 1)} - \frac{br_2^2 + 2}{(ar_2^4 + br_2^2 + 1)} \right]. \quad (11)$$

Отримана формула (11) для наближеного розрахунку моменту електродинамічного гальма надає можливість розрахувати електромагнітний момент залежно від параметрів матеріалу диска та розмірів його активної частини.

Для електропровідного феромагнітного диска магнітна проникність залежить від величини магнітної індукції в кожній точці. Розглянемо вплив магнітної проникності на величину електромагнітного моменту дископодібного електродинамічного гальма при таких припущеннях:

1. Будемо вважати магнітну проникність при заданій індукції однаковою в усіх точках диска.

2. Матеріал диска ізотропний.

3. Зміна швидкості обертання диска не приводить до появи нових чи зникненню існуючих гармонічних складових розподілу магнітної індукції вповодж кутової координати.

4. Магнітна проникність матеріалу диска визначається значенням осьової компоненти вектора магнітної індукції певної гармонічної складової при відповідній швидкості обертання диска по характеристиці намагнічування з врахуванням підмагнічування.

5. Електромагнітний момент гальма знаходимо як суму електромагнітних моментів від взаємодії просторових гармонічних складових однакового порядку струмів і магнітної індукції. (Приймаємо, що результуючий статичний електромагнітний момент від взаємодії просторових гармонічних складових струмів з просторовими гармонічними складовими магнітної індукції порядків, які не збігаються, дорівнює нулю).

Одночасне намагнічування матеріалу диска постійним і змінним магнітними полями враховуємо за прийнятою для магнітних підсилювачів методикою, використовуючи основну криву намагнічування (Ципленков, Іванов, Бобров, Кузнецов, Артемчук, & Баб'як, 2020).

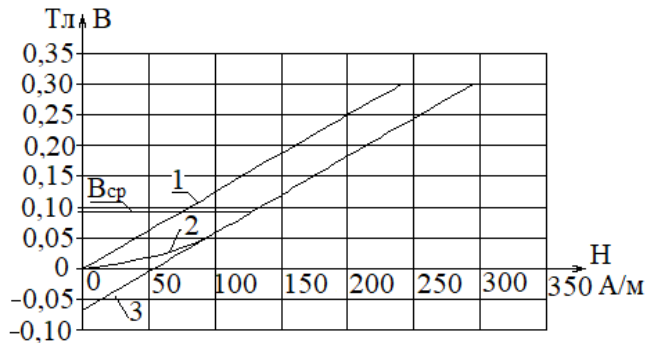


Рис. 2. Характеристики намагнічування:

1 — основна крива намагнічування сталі Ст. 3; 2 — крива одночасного намагнічування постійним (0,0675 Тл) і змінним магнітним полем; 3 — апроксимуюча пряма

Зв'язок між магнітною індукцією та напруженістю магнітного поля поблизу точки на характеристиці намагнічування (рис. 2) з цією індукцією можна виразити лінійною залежністю у вигляді:

$$B_p = B_0 + \mu_0 \cdot H_p, \quad (12)$$

де μ_0 — динамічна магнітна проникність; B_0 — точка перетину з віссю ординат дотичної (крива 3), проведеної через точку з заданою індукцією $B = B_p$ гармонічної складової з числом пар полюсів p магнітного поля, характеристики одночасного намагнічування (крива 2); H_p — напруженість для гармонічної складової з числом пар полюсів p магнітного поля в розрахунковій точці.

Початкове значення магнітної індукції гармонічної складової з числом пар полюсів p при нерухомому диску на апроксимуючій прямій (3) становить B_{cp} .

Статичну магнітну проникність матеріалу диска μ для значення індукції

$B = B_p$ гармонічної складової з числом пар полюсів p магнітного поля при довільній швидкості обертання знайдемо із співвідношення

$$\begin{aligned}\mu \cdot H_p &= B_p = B_0 + \mu_0 \cdot H_p; \\ \mu &= \frac{\mu_0 B_p}{B_p - B_0}.\end{aligned}\tag{13}$$

Слід врахувати, що при заданому початковому значенні B_{cp} магнітної індукції результуюче значення B_p гармонічної складової з числом пар полюсів p магнітного поля при довільній швидкості обертання залежить від магнітної проникності μ диска. Явну залежність B_p від μ можна знайти лише для спрощеної моделі розрахунку струмів та моменту дископодібного електродинамічного гальма (для нескінченно тонкого диска):

$$B_p = B_{cp} \frac{P}{\sqrt{(\mu \sigma \omega \cdot r^2)^2 + p^2}}.\tag{14}$$

При врахуванні витіснення вихрових струмів, магнітна проникність входить в формулу для результуючого значення B_p опосередковано через функції від глибини проникнення.

При розрахунках густини струму й електромагнітного моменту при довільній швидкості доцільно попередньо визначити очікуване значення магнітної проникності за спрощеною моделлю, знайти для нього результуюче значення магнітної індукції B_p з урахуванням ефекту витіснення струму:

$$B_p = \frac{B_{cp}}{\sqrt{a \cdot r^4 + b \cdot r^2 + 1}},\tag{15}$$

та порівняти його із значенням, отриманим із спрощеної моделі. При відхиленні більшому, ніж допустиме, необхідно розрахувати нове значення магнітної проникності, повторюючи розрахунок до збігу з необхідною точністю вхідного і вихідного значень магнітної індукції B_p . Результати розрахунку індукції та магнітної проникності по вказаному алгоритму наведені на рис. 3.

Результуюче значення B_p гармонічної складової з числом пар полюсів p індукції магнітного поля при довільній швидкості обертання, знайдене за (15), збігається з розрахованим значенням B_p та з уточненим за (13) значенням μ .

Для розрахунку моменту при заданій швидкості приймалось значення μ , яке розраховувалось за (13) для відповідної індукції, розрахованої за (15) при цій швидкості. Результати розрахунку гальмівного електромагнітного моменту, визначені за отриманими експериментально (Циганкова, 2007) значеннями амплітуд гармонічних складових магнітної індукції в повітряному зазорі електродинамічного гальма, з пазами, ширшими від зубців в 1,7 раза, показано на рис. 4.

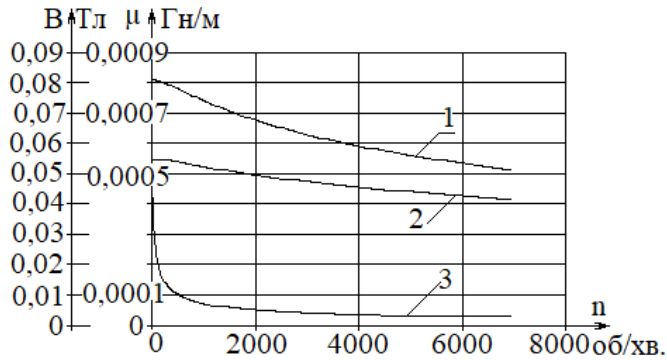


Рис. 3. Залежність від швидкості обертання магнітної проникності та індукції при одночасному намагнічуванні матеріалу диска постійним і змінним магнітними полями: 1 — індукція; 2 — уточнений розрахунок магнітної проникності; 3 — спрощений розрахунок магнітної проникності

Значення розмірів і параметрів розрахунку приведені в таблиці вхідних даних.

Таблиця. Вхідні дані для розрахунку

Параметр	Значення	Параметр	Значення	Параметр	Значення
$d_{\text{екв}}, \text{м}$	0,00323	$\sigma, 1/(\text{Ом} \cdot \text{м})$	7000000	$B_{\text{сп1}}, \text{Тл}$	0,081
$d_3, \text{м}$	0,00323	$\mu_0, \text{Гн/м}$	1,26E-06	$B_{01}, \text{Тл}$	-0,103
$d_d, \text{м}$	0,003	$\mu_d, \text{Гн/м}$	0,00125	$B_{\text{сп2}}, \text{Тл}$	0,00972
$r_1, \text{м}$	0,055	p_1	16	$B_{02}, \text{Тл}$	-0,16028
$r_2, \text{м}$	0,07	p_2	32	$B_{\text{сп3}}, \text{Тл}$	0,02187
$r_{\text{сп}}, \text{м}$	0,0625	p_3	48	$B_{03}, \text{Тл}$	-0,16715

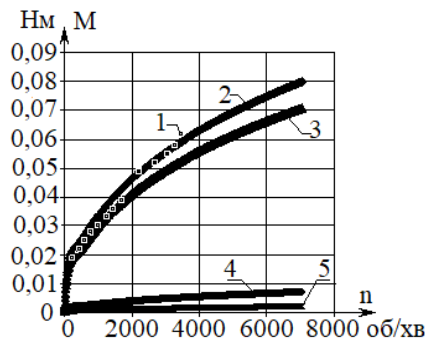


Рис. 4. Графіки залежності електромагнітного моменту від швидкості обертання для робочої зони з пазами, ширшими від зубців в 1,7 раза:

1 — точки, отримані експериментально; 2 — сумарний електромагнітний момент; 3 — електромагнітний момент, обумовлений робочою 32-полосною гармонічною складовою; 4 — електромагнітний момент, обумовлений другою 64-полосною гармонічною складовою; 5 — електромагнітний момент, обумовлений сумою 3, 4, 5, 6 гармонічних складових

Висновки

Користуючись аналітичними методами розрахунку електромагнітних полів обертових електропровідних тіл дископодібної форми, на основі енергетичного підходу знайдено нову математичну залежність для електромагнітного моменту електродинамічного гальма. Це надає можливість у подальшому вдосконалити методику проєктування електродинамічних гальм. Значення електромагнітного моменту, розраховані за отриманою формулою (11), підтверджують задовільний збіг з експериментальними даними. Для розглянутого варіанта конфігурації зубцевої зони електродинамічного гальма гармонічні складові магнітного поля, більш високого порядку, ніж робоча складова, несуттєво (близько 10—15%) впливають на створення гальмівного моменту. Відхилення експериментальних значень від розрахованих не перевищує 10%.

Література

- Васецький, Ю. М., Кондратенко, І. П. (2020). Електромагнітне поле індукторів для локального електроімпульсного впливу на металеві вироби. *Технічна електродинаміка*, 4, 11—14. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.04.011>.
- Васьковський, Ю. М., Гайдено, Ю. А. (2018). Дослідження електромагнітних процесів у синхронних машинах із постійними магнітами на основі коло-польових математичних моделей. *Технічна електродинаміка*, 2, 47—54. DOI: <http://doi.org/10.15407/techned2018.02.047>.
- Загірняк, М. В., Бранспіз, Ю. А., Вельченко, А. А. (2012). Решение уравнений магнитного поля в прямоугольном пазу с током, имеющем зону с постоянной магнитной проницаемостью. *Технічна електродинаміка*, 2, 15—16.
- Карлов, О. М., Кондратенко, І. П., Кришук, Р. С., Ращепкін, А. П. (2014). Метод розрахунку усередненого магнітного поля по висоті повітряного проміжку торцевого дугостаторного асинхронного двигуна. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*, 3 (27), 68—76.
- Ращепкін, А. П., Кондратенко, І. П., Карлов, О. М., Кришук, Р. С. (2022). Метод розрахунку електромагнітного поля спіралеподібної індукційної системи для магнітоімпульсного оброблення немагнітних металевих смуг з феромагнітним екраном. *Технічна електродинаміка*, 2, 43—51. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2022.02.043>.
- Титко, А. Й. (1994). *Електромагнитное экранирование незамкнутыми структурами в электрических машинах*. Київ: Наук. думка.
- Ципленков, Д. В., Іванов, О. Б., Бобров, О. В., Кузнецов, В. В., Артемчук, В. В. & Баб'як, М. О. (2020). *Проектування електричних машин : навч. посіб.* Дніпро: НТУ «ДП».
- Циганкова, Г. А. (2007). Експериментальне дослідження магнітного поля в дископодібному електродинамічному гальмі. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*, 2(17), 112—116.
- Циганкова, Г. А. (2018). Методика розрахунку розподілу густини струмів в дисковому роторі електродинамічного гальма. *Відновлювана енергетика*, 4 (55), 53—63. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2018.4\(55\).53-63](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2018.4(55).53-63)
- Hendershot, J. R. & Miller, T. J. E. (2010). *Design of Brushless Permanent-Magnet Machines*. Motor Design Books LLC, Second Edition.
- Upadhyay Parag R. and Rajagopal, K. R. (2006). FE Analysis and Computer-Aided Design of a Sandwiched Axial-Flux Permanent Magnet Brushless DC Motor. *IEEE Trans. Magn.*, 42, 3401—3403.
- Profumo, F., Tenconi, A., Zhang, Z. and Cavagnino, A. (2000). Design and realization of a novel axial flux interior PM synchronous motor for wheel-motors applications. *Electrical Machines and Power Systems*. 637—649.
- Sahin, F., Tuckey, A. M. and Vandenput, A. J. A. (2001). Design, development and testing of a high speed axial-flux permanent magnet machine. *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*.
- Wang, R. and Kamper, M. J. (2002). Evaluation of eddy current losses in axial flux permanent magnet (AFPM) machine with an ironless stator. *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, 1289—1294.

УДК 621.313

INNOVATIVE SHUT-OFF AND CONTROL DEVICES IN SUGAR PRODUCTION PROCESS FLOWS

V. Myronchuk, L. Kryvoplias-Volodina, V. Hera

National University of Food Technologies

S. Volodin

LCC CAMOZZI

Key words:

Shut-off and control devices
Interflange rotary disk valve
Ball valve
Numerical experiment
Sugar production

Article history:

Received 06.07.2023
Received in revised form 24.07.2023
Accepted 09.08.2023

Corresponding author:

V. Myronchuk

E-mail:

mironchukvg@ukr.net

Citation: В. Г. Мирончук, Л. О. Кривопляс-Володіна, В. М. Гера, С. О. Володін (2023). Інноваційні запірно-регулювальні пристрої в технологічних потоках виробництва цукру. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 107—116.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-10

ABSTRACT

The efficiency of sugar production largely depends on the reliability of the shut-off and control devices (SCDs) in the system of technological pipelines connecting the equipment into a single hardware and technological scheme operating in a continuous mode.

The results of experimental studies aimed at solving the urgent scientific and technical problem of efficiency and regulation of technological flows in sugar production pipelines by improving the structural and operational characteristics of the SCDs are presented in the article.

Based on the analysis of the actual state of the problem, it was determined that improving the reliability of the SCDs operation can be achieved by creating mathematical and physical models that determine the rational combination of initial design parameters with the standards of leakage, robustness, and service life while ensuring a given technological regulation.

By studying the operation of a DN40 interflange disc valve equipped with a pneumatic control device, the present values of the performance characteristics of the actuating SCDs' elements were calculated by the numerical modeling method, taking into account the flow capacity and closure leak tightness at the angle rotation value of the disc interflange valve by 30°, 60°, 90°. These results made it possible to determine the mode of rational use of the disc valve with smooth changes in flow characteristics, which eliminated impulse vibrations (hydraulic shocks).

The problem of correcting the steam temperature control in the stabilizing circuit of the reduction and cooling device was solved by means of dosed water supply using ball valves with a V-shaped cutout and an electro-pneumatic positioning drive. The average temperature was 132.9 °C with a set temperature of 132 °C.

The results of the research were implemented at the Yareskiv and Lynovytskyi sugar plants.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-10

ІННОВАЦІЙНІ ЗАПІРНО-РЕГУЛЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОТОКАХ ВИРОБНИЦТВА ЦУКРУ

В. Г. Мирончук, Л. О. Кривопляс-Володіна, В. М. Гера

Національний університет харчових технологій

С. О. Володін

ТОВ КАМОЦЦІ

Ефективність цукрового виробництва значною мірою залежить від надійності роботи запірно-регулювальних пристроїв (ЗРП) у системі технологічних трубопроводів, що об'єднує обладнання в єдину апаратурно-технологічну схему, яка працює в безперервному режимі.

У статті наведено результати експериментальних досліджень, спрямованих на вирішення актуального науково-технічного завдання щодо ефективності роботи та регулювання технологічними потоками в трубопроводах цукрового виробництва шляхом удосконалення конструкційних та експлуатаційних характеристик ЗРП. На основі аналізу сучасного стану проблеми визначено, що підвищення надійності роботи ЗРП можна досягти шляхом створення математичних і фізичних моделей, які визначають раціональне поєднання вихідних конструктивних параметрів з нормами герметичності, міцності та ресурсу при забезпеченні заданого технологічного регламенту.

Дослідженнями роботи міжфланцевої дискової заслінки DN40, оснащеної пневматичним приладом керування, методом чисельного моделювання, розраховані поточні значення експлуатаційних характеристик виконавчих елементів ЗРП з урахуванням пропускної спроможності та герметичності замикання при величині кута повороту дискової міжфланцевої заслінки на 30°, 60°, 90°. Ці результати дали змогу визначити режим раціональної експлуатації дискової заслінки з плавними змінами витратних характеристик, що усуває імпульсні вібрації (гідравлічні удари).

Вирішено завдання корекції регулювання температури пари в стабілізаційному контурі РОУ шляхом дозованої подачі води за допомогою кульових кранів з V-подібним вирізом та електропневматичним позиційним приводом. Середнє значення температури склало 132,9 °C при заданому значенні температури 132 °C.

Результати виконаних досліджень реалізовані на Ярецьківському та Линовицькому цукрових заводах.

Ключові слова: запірно-регулювальні пристрої, міжфланцева поворотна дискова заслінка, кульовий кран, чисельний експеримент, цукрове виробництво.

Постановка проблеми. Ефективність цукрового виробництва значною мірою залежить від надійної роботи запірно-регулювальних пристроїв у системі технологічних трубопроводів, що об'єднують обладнання в єдину апаратурно-технологічну схему, яка працює в безперервному режимі.

Аналіз тенденцій розвитку конструкцій запірно-регулювальних пристроїв (ЗРП) свідчить (рис. 1), що основними параметрами їх удосконалення є збільшення ресурсу роботи його складових елементів при гарантованому забезпеченні

визначених робочих параметрів, заданої точності необхідних витратних характеристик технологічних потоків, зменшення собівартості виготовлення, енергоспоживання та їх ремонтну придатність.

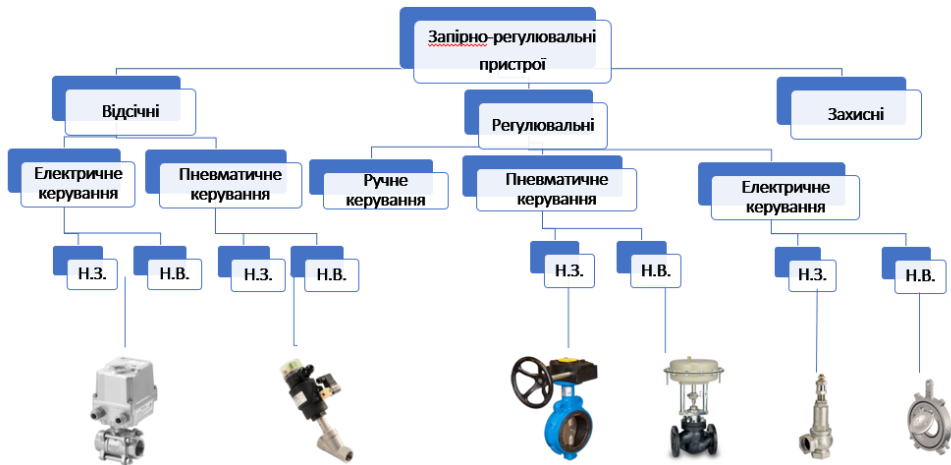


Рис. 1. Узагальнена класифікація промислових запірно-регулювальних пристроїв цукрового виробництва:

Н.В. — нормально відкриті; Н.З. — нормально-закриті

Тенденції удосконалення конструкцій запірно-регулювальних пристроїв:

- розробка нових методів розрахунку конструкційних елементів ЗРП на основі фізичних процесів гідродинаміки;
- використання нових конструкцій і матеріалів ущільнювачів;
- застосування новітніх способів обробки робочих поверхонь деталей ЗПП;
- удосконалення системи керувань ЗРП;
- усунення нестаціонарних процесів імпульсної вібрації в трубопровідних мережах;
- підвищення вимог щодо точності керування ЗРП.

При роботі запірно-регулювальної арматури неминуче виникає взаємодія потоку робочого середовища з елементами проточної частини арматури. Результатами такої взаємодії є виникнення вібрації корпусу елементів, шум, перепади тиску, зміни швидкісних характеристик потоку робочого середовища, температурні зміни, тому актуальним є дослідження гідродинаміки потоку робочого середовища при різних режимах для визначення стану трубопроводів і обладнання, пов'язаного з елементами запірно-регулювальних систем.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Наразі значне зростання актуальності застосування трубопровідної арматури призводить до уточнення системи стандартів. Так, (Chinyayev, 2016) трубопровідною арматурою вважають технічний пристрій, що встановлюється на трубопроводах, обладнанні і смностях, призначений для управління потоком робочого середовища шляхом зміни прохідного перерізу. Більшість розробників запірно-регулювальних пристроїв (Jonaitis, 2006) під управлінням розуміє процеси перекриття потоку, відкриття, регулювання,

скидання, розподіл, змішування і розділення різних робочих середовищ (рідкої, газоподібної, порошкоподібної, багатofазної).

Промислова трубопровідна арматура залежить від пристроїв, що встановлюються на трубопроводі і ємності та забезпечують управління потоком робочого середовища шляхом зміни прохідного перерізу (Kopytov, & Taranov, 2015). Питання проєктування, розрахунку, вибору та особливостям експлуатації арматури висвітлені у (Bhagwat, Kedar, & Jayshri, 2017). Авторами досліджувалась протяжність трубопроводів цукрового заводу, яка може становити кілька десятків кілометрів, загальна кількість арматури, яка застосовується в технологічних системах та особливості конструктивного виконання і призначення позиційних систем. Натепер основні вимоги щодо вибору запірно-регулювальних пристроїв та їх приводів (Kang, & Yuan, 2020) такі: необхідний ступінь герметичності, довговічності, циклічної стійкості, ймовірності безвідмовної роботи, ремонтпридатності, розміщення в трубопровідних системах із контролювальними системами віддаленого зв'язку, раціональні характеристики системи керування. Перелік контрольованих характеристик обладнання, пов'язаного з роботою трубопровідної системи, закладено в результатах дослідження (Kim, & Tsao, 2020). Важлива складова для вибору запірно-регулювальних пристроїв — максимальна відповідність експлуатаційним параметрам. На основі праць (Liu, & Jiang, 2014; ДСТУ EN 12266-1:2009, 2009) для різних видів ЗРП складена класифікація експлуатаційних характеристик. У дослідженнях (Hu, & Li, 2015; Wang, & Zhu, 2020; Mironchuk, & Volodin, 2015) виділені окремі недоліки роботи ЗРП, які мають обмежувальний характер (герметичність, габарити, властивості робочих середовищ). Опір потоку кульового крана може призвести до значних експлуатаційних затрат (Zhao, & Han, 2022).

З іншого боку, у дослідженнях (Balacco, & Apollonio, 2015; Ghidaoui, 2004) описано характеристики кульових кранів і дискових заслінок з чверть поворотними системами, які для підтримки заданого часу на відкриття/закриття вимагають правильно підбирати виконавчий механізм з приводом меншої потужності.

На основі досліджень (Ferreira, Martins, & Covas, 2018; Mingjiang ShiTing Ye, 2022) обґрунтовано актуальність розв'язання задач щодо впливу пружно-дисипативних властивостей ланок з урахуванням тертя в контактних парах запірно-регулювальних елементів на роботу електропневматичного приводу та його технологічних параметрів. Проведений аналіз чинних досліджень, пов'язаних з ефективністю роботи пристроїв запірно-регулювальних елементів, показав недостатність досліджень щодо їх експлуатаційних характеристик.

Метою статті є дослідження параметрів удосконалення конструкцій і підвищення ефективності роботи ЗРП шляхом чіткого регулювання потоками в трубопроводах цукрового виробництва завдяки підвищенню їх експлуатаційних характеристик.

Матеріали і методи. Дослідження проводили методом чисельного моделювання на розроблених і виготовлених експериментальних стендах:

- на експериментальному стенді для дослідження кінематичних і аналітичних параметрів ЗРП в умовах змінної продуктивності, в якому передбачено можливість зміни законів руху вихідної ланки (диска, кулі, клапана), що дає змогу задавати та відстежувати кінематичні та динамічні характеристики ЗРП за умов змінної продуктивності технологічної ділянки;

- на експериментальному стенді досліджували роботу ЗРП з пропорційним керуванням за допомогою цифрового витратоміра і датчиків тиску. Дослідження проводили за умов двоконтурної мережі: зона керування — повітря тиском 6 барів, температурою 20 °С; робоча зона — вода тиском 0,2—4,0 бари, температурою 20—70 °С.

Результати і обговорення. Дослідження роботи міжфланцевої дискової заслінки DN40, оснащеної електропневматичним приладом керування, здійснювали методом чисельного моделювання з використанням програмного пакета Solidworks. Адекватність отриманих результатів перевірено на власно розробленій експериментальній установці для дослідження гідродинамічних процесів. Зокрема досліджено удосконалену, за формою ущільнень, дискову міжфланцеву заслінку з електропневматичним позиційним приводом керування ERDNAF-N52N (рис. 2) на базі розробленої моделі. Базові моделі дослідження ґрунтуються на рівнянні Нав'є-Стокса (рівняння збереження імпульсів разом із рівнянням нерозривності потоку).

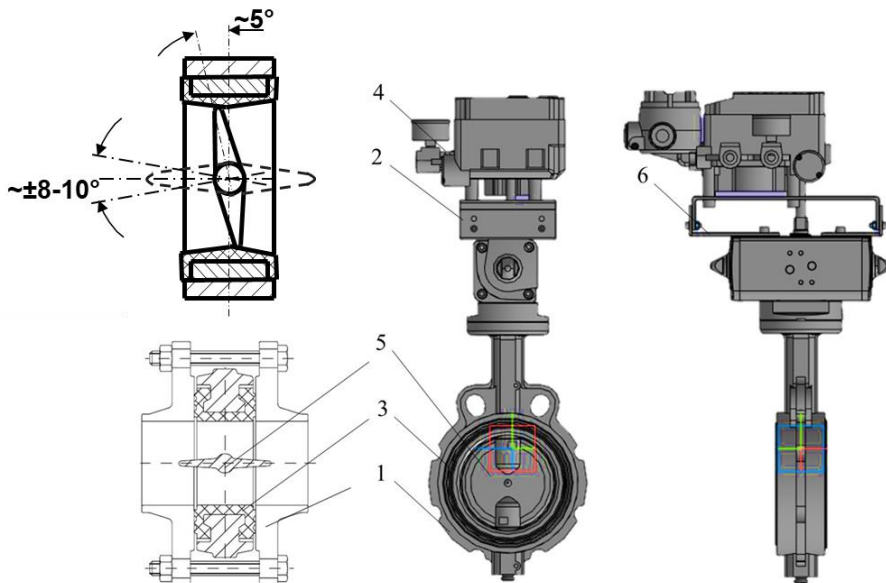


Рис. 2. Дослідна модель ЗРП: 1 — корпус; 2 — поворотний пневматичний привод; 3 — ущільнення; 4 — електропневматичний позиційний привод; 5 — диск; 6 — монтажна платформа

Розраховано поточні значення експлуатаційних характеристик виконавчих елементів ЗРП обладнання цукрового виробництва з урахуванням пропускної спроможності та герметичності замикання при заданій величині ходу ланки.

Дослідження проводили за умов відкривання–утримання–закривання дискової заслінки на кут повороту 30°, 60°, 90°. У результаті отримали розподіл тиску за вищезазначених умов положення диска заслінки (рис. 3).

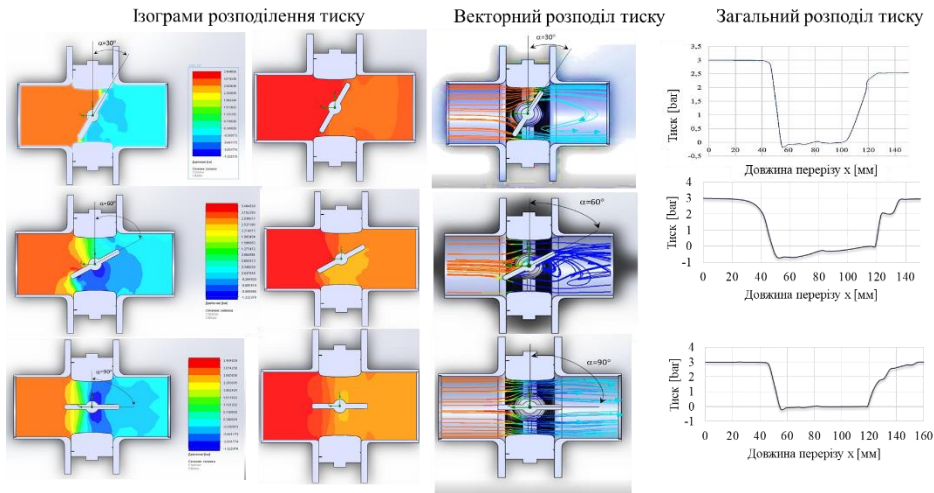


Рис. 3. Моделі, побудовані для отримання графічних залежностей розподілення тисків, для встановленого кута відкриття диска заслінки: 30°, 60°, 90 °С

У цьому випадку обраховували зв'язок перепаду тиску і швидкості потоку за рівнянням:

$$\Delta P = \zeta \frac{V^2}{2g} = (\zeta_1 + \zeta_2) \frac{V^2}{2g}, \quad (1)$$

де ζ_1 , ζ_2 — безрозмірні коефіцієнти гідравлічного опору ЗРП та трубопроводу; V — швидкість течії робочої рідини, м/с; g — прискорення вільного падіння, м/с².

Узагальнені результати чисельного моделювання за коефіцієнтом гідравлічного опору (2) залежно від кута повороту диска заслінки, тобто від ступеня перекриття прохідного перерізу ЗРП наведені на рис. 4.

Коефіцієнт гідравлічного опору:

$$\zeta = \frac{2g\Delta P}{V^2}. \quad (2)$$

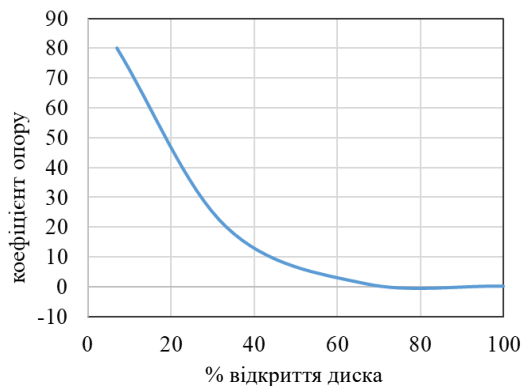


Рис. 4. Залежність коефіцієнта гідравлічного опору від ступеня перекриття ЗРП дисковою міжфланцевою заслінкою

Результати досліджень дали змогу визначити режим раціональної експлуатації дискових заслінок, що забезпечуються сигналами керування на здійснення плавних змін витратних характеристик з метою усунення імпульсних вібрацій (гідравлічних ударів). При цьому точність відпрацювання керуючого сигналу переміщення виконавчого переміщення ЗРП складає один відсоток від загального кута повороту заслінки.

Результати виконаних досліджень використовують для відпрацювання і вибору на стадії проектування проточних частин ЗРП за гідродинамічними характеристиками. Під час натурних випробувань дискові заслінки типу DN використали для підтримання заданого рівня соку (сиропу) в корпусах випарної станції цукрового заводу.

На рис. 5 продемонстровано результати підтримання необхідного рівня соку першого і другого корпусах випарної станції за допомогою зміни кута повороту диска заслінки. При цьому середнє значення рівня соку в першому корпусі склало 65,86% при заданому значенні 66%, у другому корпусі — 84,75% при заданому значенні 66%, що відповідає вимогам технологічного регламенту.

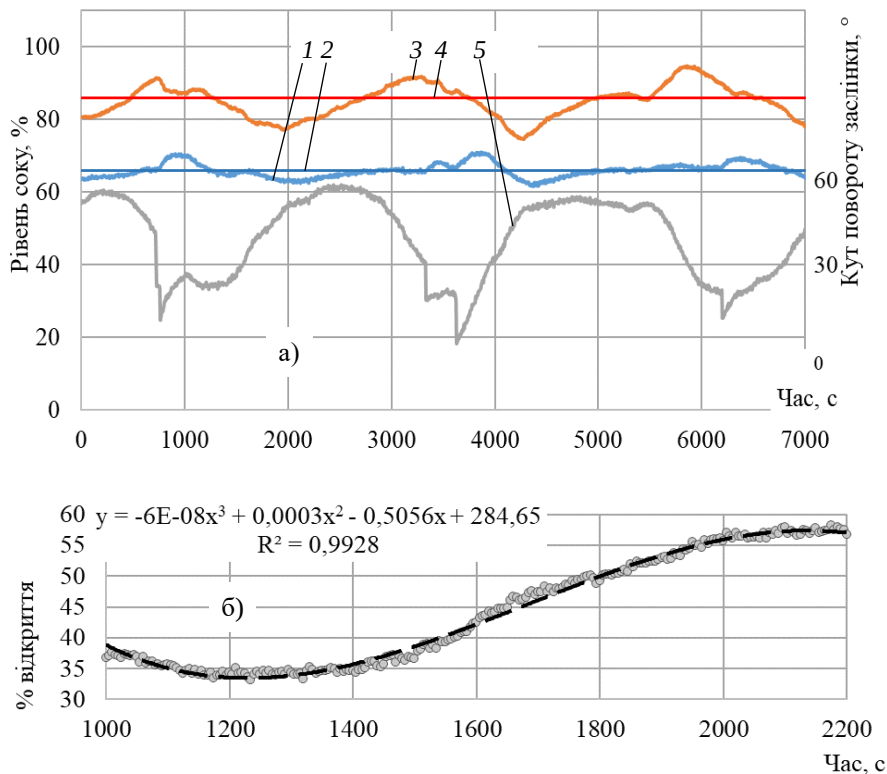


Рис. 5. Результати регулювання рівня соку в першому та другому корпусах випарної станції дисковою заслінкою з позиційним електропневматичним приводом, отримані при впровадженні запропонованого ЗРП в ТОВ «ІНВЕСТПРОМХОЗ»: а) діаграма значень рівня соку в першому та другому корпусах та кута повороту дискової заслінки: 1 — рівень у 1 корпусі, 2 — завдання 1, 3 — рівень у 2 корпусі, 4 — завдання 2, 5 — кут повороту заслінки; б) узагальнена характеристика кута повороту заслінки та результати математико-статистичної обробки

Отримані результати досліджень застосовані на випарних станціях Яреськівського та Линовицького цукрових заводів при впровадженні ЗРП дискових міжфланцевих поворотних заслінок із позиційним електропневматичним приводом.

Окрім дискових заслінок, на Линовицькому цукровому заводі успішно пройшли випробовування кульові крани в V-подібним вирізом під кутом 60° (рис. 6) та електропневматичним позиційним приводом для регулювання температури пари в стабілізуючому контурі редуційно-охолоджувальної установки (РОУ) за рахунок дозованої подачі води. Якщо порівняти зі звичайними кульовими кранами (без V-подібного вирізу), кульові крани DN32 з V-подібним вирізом та електропневматичним позиційним приводом забезпечують практично лінійні характеристики змін витрат води на охолодження пари в РОУ, що підтверджує ефективну роботу таких кранів.

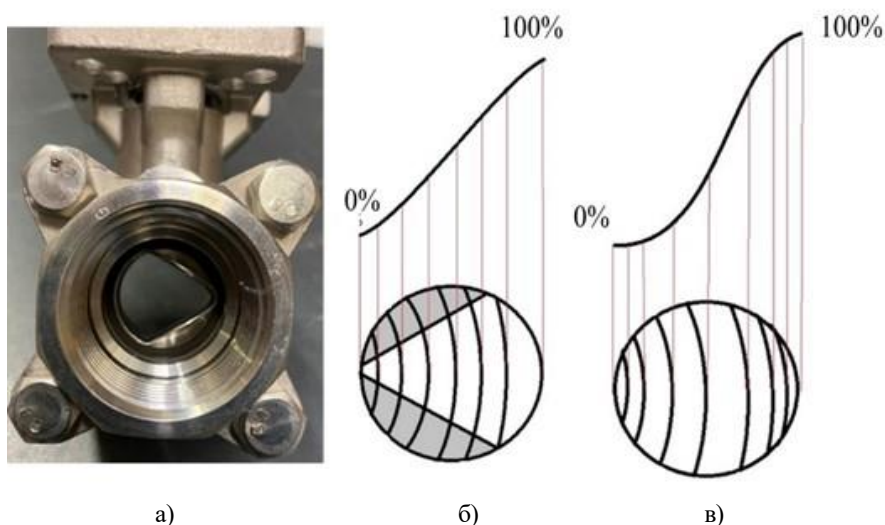


Рис. 6. Запірно-регулювальний пристрій стабілізуючого контура РОУ:

а) кульовий кран; б), в) порівняльні характеристики зміни витрат води в стабілізуючому контурі РОУ при використанні кульового крана з V-подібним вирізом під кутом 60° і звичайного кульового крана

Результати випробувань засвідчили, що при заданому значенні температури пари 132°C після РОУ середнє значення температури пари на виході із РОУ склало $132,9^\circ\text{C}$. На рис. 7 продемонстровано характеристики зміни температури пари в стабілізаційному контурі РОУ при використанні кульового крана з V-подібним вирізом під кутом 60° та умовним проходом 32 мм.

Результати досліджень показали, що запропоновані рішення щодо стабілізації надходження технологічної пари на випарну станцію цукрового заводу шляхом використання кульового крана з V-подібним вирізом у стабілізаційному контурі РОУ забезпечує чітке підтримання заданої температури пари на виході з РОУ.

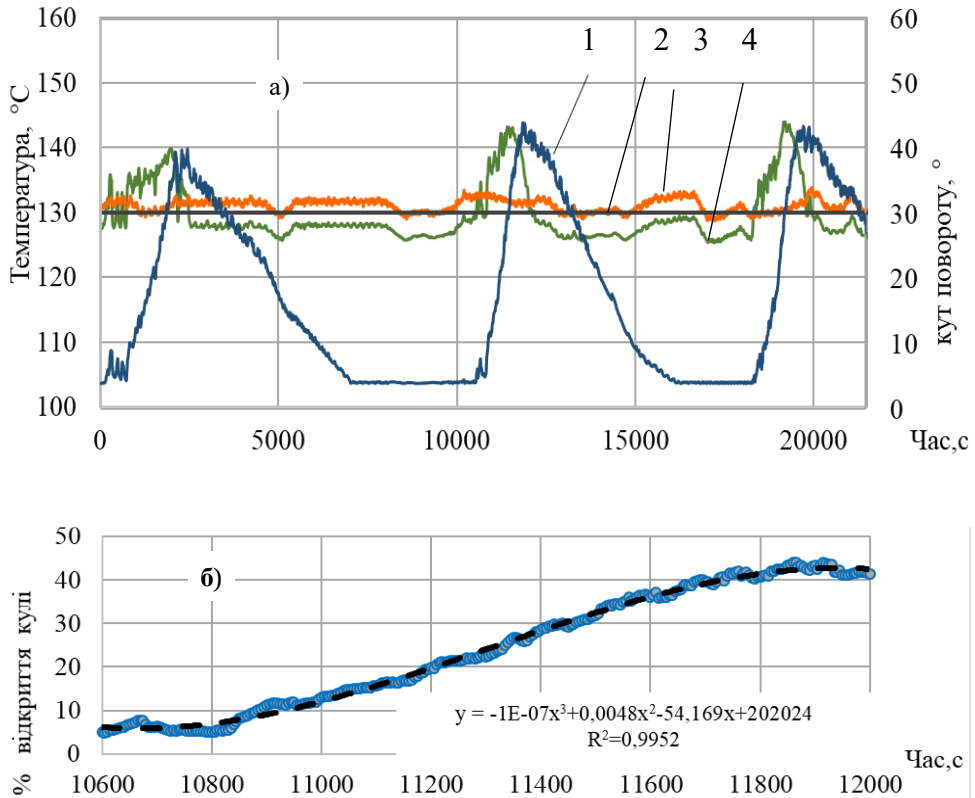


Рис. 7. Характеристика зміни температури пари у стабілізуючому контурі редукційно-охолоджувальної установки при використанні кульового крану з V-подібним вирізом з позиційним електропневмоприводом для регульованої подачі води, отримана при впровадженні в ТОВ «ІНВЕСТПРОМХОЗ»: а) узагальнена характеристика зміни температурних показників від кута повороту ЗРП: 1 — кут повороту кулі, 2 — завдання; 3 — температура ретурної пари після турбіни; 4 — температура редукційованої пари; б) кут повороту кулі та результати математично-статистичної обробки

Висновки

Застосування інноваційних запірно-регулювальних пристроїв у технологічних потоках виробництва цукру гарантують підтримання визначеного технологічного регламенту та заданої точності витратних характеристик технологічних потоків цукрового виробництва.

Вдосконалено типові конструкції запірно-регулювальних пристроїв у складі технологічних трубопроводів виробництва цукру, оснащених міжфланцевими дисковими поворотними заслінками типу DN та кульовими кранами з V-подібним вирізом.

Вирішена задача дотримання стабільного рівня соку в першому та другому корпусах випарної станції цукрового заводу при забезпеченні плавності роботи системи керування ЗРП, а також проблема корекції регулювання температури пари на виході з РОУ шляхом точно дозованої подачі води.

Результати впровадження вищезгаданих напрацювань свідчать про високу ефективність їх використання для забезпечення стабільності витратних характеристик технологічних трубопроводів виробництва цукру.

Література

Chinyaev, I. R. (2016). The Valve is a Shutoff for the Passive Protection Systems of Pipelines. *Procedia Engineering*, 150, 220—224. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.750>.

Ionaitis, R. R. (2006). Passive means, systems, security items, Glossary of terms, definitions, and interpretations. *Pipeline valves, and equipment*, 4, 85—87.

Kopytov, I. I., Taranov, G. S. (2005). Passive system of emergency cooling of reactor cores in modern NPP designs and ways for their further improvement. *Proceedings of AEDs*, 6, 17—21.

Bhagwat B. Kedar, Jayshri S. (2017). Gulave Mitigations to Flow Induced Vibration (FIV) in Control Valve Piping System using Visco-Elastic Dampers & Neoprene Pads. *International Journal of Science Technology & Engineering*, 3, 40—49. Взято з: <http://surl.li/jgwgz>.

Jian Kang, Zhaohui Yuan (2020). Numerical Simulation and Experimental Research on Flow Force and Pressure Stability in a Nozzle-Flapper Servo Valve. *Processes*, 8(11), 1404. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr8111404>.

Kim, D. H. Tsao, T. C. (2020). A Linearized Electrohydraulic Servovalve Model for Valve Dynamics Sensitivity Analysis and Control System Design. *J. Dyn. Syst. Meas. Control*, 122, 179—187.

Liu, C. Jiang, H. A (2014). Seventh-order model for dynamic response of an electro-hydraulic servo valve. *Chin. J. Aeronaut.*, 27, 1605—1611. doi: <https://doi.org/10.1115/1.3153006>.

Hu, J. P. Li, K. J. (2015). Numerical simulation for a twin-flapper-nozzle servo valve's working process. Zhendong Yu Chongji. *J. Vib. Shock*, 34, 109—114. DOI: 10.13465/j.cnki.jvs.2015.15.020.

Wang, Y. Zhu, C. (2020) Numerical Analysis to the Effect of Guiding Plate on Flow Characteristics in a Ball Valve. *Processes*, 8, 69. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr8010069>.

Zhao, B. Han, L. (2022). Effects of blade angle on mixed-flow pump on internal vortex structure and impeller-guide vane adaptability. *J. Drain. Irrig. Mach. Eng.*, 40, 109—114. DOI: <https://10.3969/j.issn.1674-8530.20.0269>

Balacco, G.; Apollonio, C. (2015). Experimental analysis of air valve behavior during hydraulic transients. *Appl. Water Eng. Res.*, 3, 3—11. DOI: <https://doi.org/10.1080/23249676.2015.1032374>.

Ghidaoui, M. S. (2004). On the fundamental equations of water hammer. *Urban Water J.*, 1, 71—83. DOI: <https://doi.org/10.1080/15730620412331290001>.

Ferreira, J. P.; Martins, N. M.; Covas, D. I. (2018). Ball valve behavior under steady and unsteady conditions. *Hydraul. Eng.*, 144, 04018005. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001434](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001434).

Mingjiang ShiTing Ye (2022). Design and experimental research of internal leakage detection device of buried pipeline ball valve based on valve cavity pressure detection. *Flow Measurement and Instrumentation*. 83(2):102112. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2021.102112.

SYSTEM ANALYSIS AND APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED POWER SUPPLY SYSTEM FOR CIVIL OBJECTS WITH PHOTOELECTRIC PLANTS AND ELECTRICITY STORAGE

P. Zinkevych, S. Baluta

National University of Food Technologies

Key words:

*Electric energy
Power supply
Photoelectric plant
Storage
system analysis*

Article history:

Received 06.07.2023
Received in revised form
24.07.2023
Accepted 07.08.2023

Corresponding author:

P. Zinkevych

E-mail:

petrozinkevich@gmail.com

Citation: П. О. Зінкевич,
С. М. Балюта (2023). Си-
стемний аналіз і підходи
до розробки автоматизо-
ваної системи електроза-
безпечення цивільних
об'єктів з фотоелектрич-
ними станціями та нако-
пичувачами електроенер-
гії. *Наукові праці НУХТ*,
29(4), 117—125.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2023-29-4-11

ABSTRACT

The state of management of power supply systems for civil facilities using photovoltaic power stations (PPS) and electric power storage (EPS) was analyzed in the article. A systematic analysis of the process of managing the power supply of civil objects (CO) with the use of PPS and EPS of civil objects was carried out, which, based on the decomposition of the control process according to the IDEF0 methodology, made it possible to determine the main stages of the control process: basic control functions, input data for the implementation of control functions, functions to ensure control implementation. The basic management functions included: monitoring of electricity consumption of a civil facility (power consumers, apartments), generation capacity of the PPS; selection of models and carrying out load forecasting of the central office; power system management function; monitoring of the charge/discharge of the electrical energy (EE) storage device; formation of a database (DB) for the management of the power supply of the central office; formation of decisions to optimize energy supply systems (ESS) operating modes; Mechanisms for implementing control functions were: information and computing complex; EE sensors; Chief Engineer. Input data for the implementation of control functions are: meteorological data; data obtained from EE metering devices; PPS generation data. The functions of ensuring the implementation of management were: requirements regarding the schedules of EE consumption, PPS generation; requirements for the accuracy of forecasting EE consumption and PPS generation; regulation of the operating mode of the central heating network; data on the state of the EE storage device; regulation of power supply system modes; tariffs for EE, capacities and volumes of EE received from the power system and PPS.

On the basis of the conducted system analysis, the concept of creating an automated control system for the power supply of civil facilities using PPS and NE was formed.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-11

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ І ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ СТАНЦІЯМИ ТА НАКОПИЧУВАЧАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

П. О. Зінкевич, С. М. Балюта

Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано стан керування системами електрозабезпечення цивільних об'єктів (ЦО) з використанням фотоелектричними станціями (ФЕС) та накопичувачами електроенергії (НЕ). Проведено системний аналіз процесу керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС та НЕ ЦО, який на основі декомпозиції процесу керування за методологію IDEF0 дає змогу визначити основні етапи процесу керування: базові функції керування, вхідні дані для реалізації функцій керування, функції забезпечення реалізації керування. До базових функцій керування відносяться: моніторинг електроспоживання ЦО (силових споживачів, квартир), потужності генерації ФЕС; вибір моделей і проведення прогнозування навантаження ЦО; функція керування енергосистемою; моніторинг заряду/розряду НЕ; формування бази даних (БД) з керування електрозабезпеченням ЦО; формування рішень по оптимізації режимів роботи системи енергозабезпечення (СЕЗ). Механізми реалізації функцій керування такі: інформаційно-обчислювальний комплекс; датчики електричної енергії (ЕЕ); головний інженер. Вхідні дані для реалізації функцій керування: метеорологічні дані; дані, отримані з приладів обліку ЕЕ; дані генерації ФЕС. Функції забезпечення реалізації керування такі: вимоги щодо графіків споживання ЕЕ, генерації ФЕС; вимоги до точності прогнозування споживання ЕЕ та генерації ФЕС; регулювання режиму роботи електричної мережі ЦО; дані щодо стану накопичувача ЕЕ; регулювання режимів системи електрозабезпечення; тарифи на ЕЕ, потужності та обсяги ЕЕ, отримані від енергосистеми та ФЕС.

На основі проведеного системного аналізу сформовано концепцію побудови автоматизованої системи керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС та НЕ.

Ключові слова: *електрична енергія, електрозабезпечення, фотоелектростанція, накопичувач, системний аналіз.*

Постановка проблеми. Керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС та НЕ є актуальним завданням, оскільки дає змогу забезпечувати енергоефективні режими електрозабезпечення, зменшити навантаження на електричну мережу і вартість електричної енергії, що споживається, забезпечити ефективне використання ФЕС та НЕ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням керування електрозабезпечення з використанням ФЕС та НEE присвячено ряд праць. Розглянемо деякі з них.

У дослідженні (Kallio, & Siroux, 2022) представлено огляд систем управління енергією цивільних об'єктів (HEMS) для виробництва відновлюваної енергії та використання методів оптимізації. HEMS є важливою програмою Smart Grid. HEMS використовується для моніторингу й оптимального управління потоками енергії в будівлях, включаючи виробництво енергії з ВДЕ, від НЕ та розумну побутову техніку. HEMS підтримується розширеною інфраструктурою вимірювання (AMI) або інтелектуальними лічильниками, які мають двосторонній зв'язок між споживачем і комунальним підприємством енергосистеми. До недоліків HEMS відносяться: неврахування особливостей старіння акумуляторних батарей (АБ); зміна параметрів АБ унаслідок старіння; неможливість обмеження пікових навантажень електричної мережі.

У дослідженні (Zhuo, 2019) представлено декілька стратегій керування мікромережами з відновлюваними джерелами енергії та системи накопичення енергії. Алгоритми керування, представлені в цьому дослідженні, забезпечують максимізацію прибутку від генерації ЕЕ та мінімізацію витрат енергії в мікромережах з використанням даних прогнозування ЕЕ, отриманої від відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), метеоданих, тарифів на ЕЕ, прогнозні дані щодо навантаження. Запропоновані алгоритми керування при формуванні керувальних дій не враховують кількість циклів зарядів АБ, неточність даних прогнозу, зміну параметрів АБ протягом терміну експлуатації.

У статті (Alam, Rahman, Ahmed, Chowdhury, & Jang, 2022) пропонується модель для системи енергоменеджменту домашньої мікромережі, інтегрованої з НЕ для мінімізації вартості ЕЕ з урахуванням обмеження потужності ВДЕ, НЕ. Запропонована математична модель не забезпечує оптимізацію режимів електрозабезпечення ЦО.

У дослідженні (Santoso, Mursid, & Prajogo, 2018) представлена система енергоменеджменту будинку (HEMS). Зокрема проведено аналіз застосування HEMS із програмами DSM (Demand Side Managment) і PEV (Plug-in Electric Vehicles) для керування розумними мережами з метою покращення якості функціонування мереж. Представлена система не передбачає використання НЕ для керування енергозабезпечення.

У дослідженні (Angenendt, Zurmühlen, Mir-Montazeri, Magnor, & Sauer, 2016) представлено стратегію керування ФЕС та НЕ з метою збільшення терміну служби літій-іонних батарей без значного зниження рівня власного споживання. Наведена стратегія не забезпечує врахування неточностей моделей прогнозування, моніторинг стану АБ та зменшення пікових навантажень мережі.

У праці (Jeddi, Mishra, & Ledwich, 2017) запропонована система HEMS для побутових клієнтів спрямована на мінімізацію щоденних витрат на електроенергію шляхом ефективного планування й управління системами ФЕС та НЕ з урахуванням деградації АБ НЕ та динамічних тарифів на ЕЕ. Запропонована система не забезпечує мінімізацію пікових навантажень електричної мережі та моніторинг стану АБ.

Виконаний аналіз розглянутих досліджень показав, що представлені системи та методи керування електрозабезпеченням з використанням ФЕС та НЕ передбачають керування ФЕС та НЕ з метою зменшення вартості електричної енергії, однак вони не дають змогу реалізувати в повній мірі функції прогнозування споживання ЕЕ та прогнозування генерації ФЕС, не забезпечують моніторинг стану АБ НЕ та оптимізацію режимів енергозабезпечення ЦО.

Мета дослідження полягає у синтезі автоматизованої системи керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС, НEE на основі системного аналізу процесу керування передаванням, розподілом і споживанням ЕЕ.

Матеріали і методи. Використано метод системного аналізу, структурного моделювання, а також CASE-засоби програмної інженерії, зокрема лінійку CASE-засобів Ramus, яка дає змогу в автоматичному режимі побудувати модель IDEF0 будь-якої складності.

Викладення основних результатів досліджень. Системна модель вирішення задачі підтримки прийняття рішень при керуванні електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС та НEE побудована за методологією SADT на основі нотацій IDEF0 (Булига, Булига, & Коцюбівська, 2021).

При створенні системи керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС та НЕ, виділяють такі етапи:

Етап 1. Формування функціональної моделі IDEF0 системи керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС та накопичувачів ЕЕ.

Спершу в контексті використання функціональної моделі IDEF0 сформовано контекстну діаграму найвищого рівня, що демонструє базову структуру системи керування електрозабезпеченням цивільних об'єктів з використанням ФЕС та накопичувачів ЕЕ (рис. 1).

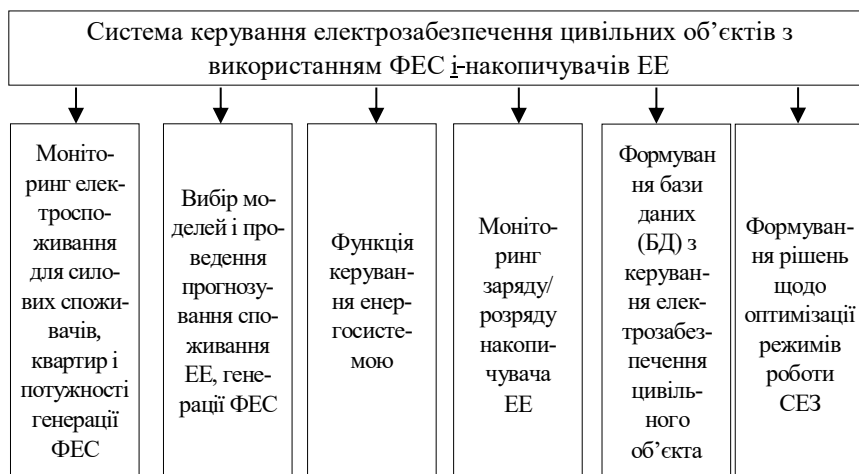


Рис. 1. Ієрархія блоків функціональної моделі IDEF0 система керування електрозабезпеченням цивільних об'єктів з використанням ФЕС і накопичувачів ЕЕ

На комплексній діаграмі моделі IDEF0 вся система керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС і накопичувачів ЕЕ позначена як блок «А0».

Для цього блоку формуються всі вхідні та вихідні дані, інші елементи, пов'язані з цим блоком, займають відведене для них місце та надалі будуть приєднані до основного блоку стрілками і позначеннями (рис. 2) (Булига, Булига, & Коцюбівська, 2021).

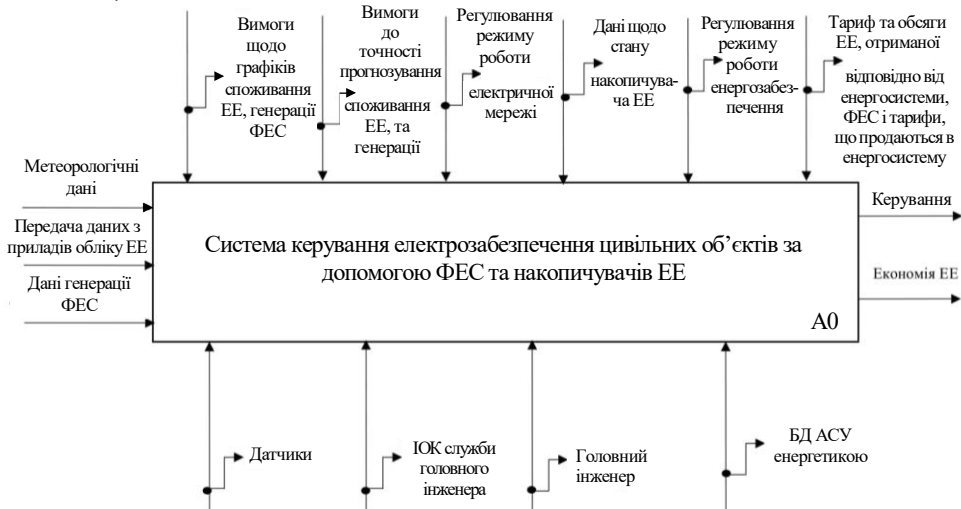


Рис.2. Комплексна діаграма моделі IDEF0 системи керування електрозабезпечення цивільних об'єктів за допомогою ФЕС і накопичувачів ЕЕ

Зв'язки в системі керування позначаються чотирма типами граничних стрілок:

1. Вхід (Input):

- метеорологічні дані;
- передача даних з приладів обліку ЕЕ;
- дані генерації ФЕС.

2. Керування (Control):

- вимоги щодо графіків споживання ЕЕ, генерації ФЕС;
- вимоги до точності прогнозування споживання ЕЕ та генерації ФЕС;
- регулювання режиму роботи електричної мережі;
- дані щодо стану накопичувача ЕЕ;
- регулювання режиму роботи електрозабезпечення;
- тарифи на ЕЕ.

3. Вихід (Output):

- економія ЕЕ;
- керування;

4. Механізми (Mechanism):

- датчики;
- ІОК служби головного інженера;
- головний інженер;
- БД АСУ енергетикою.

Етап 2. Формування декомпозиції першого рівня контекстної діаграми моделі IDEF0 системи керування електрозабезпечення ЦО з використанням ФЕС і накопичувачів ЕЕ. На рис. 3 зображено декомпозицію першого рівня контекстної

діаграми функціональної моделі IDEF0 системи керування електрозабезпечення ЦО за використання ФЕС і накопичувачів ЕЕ.

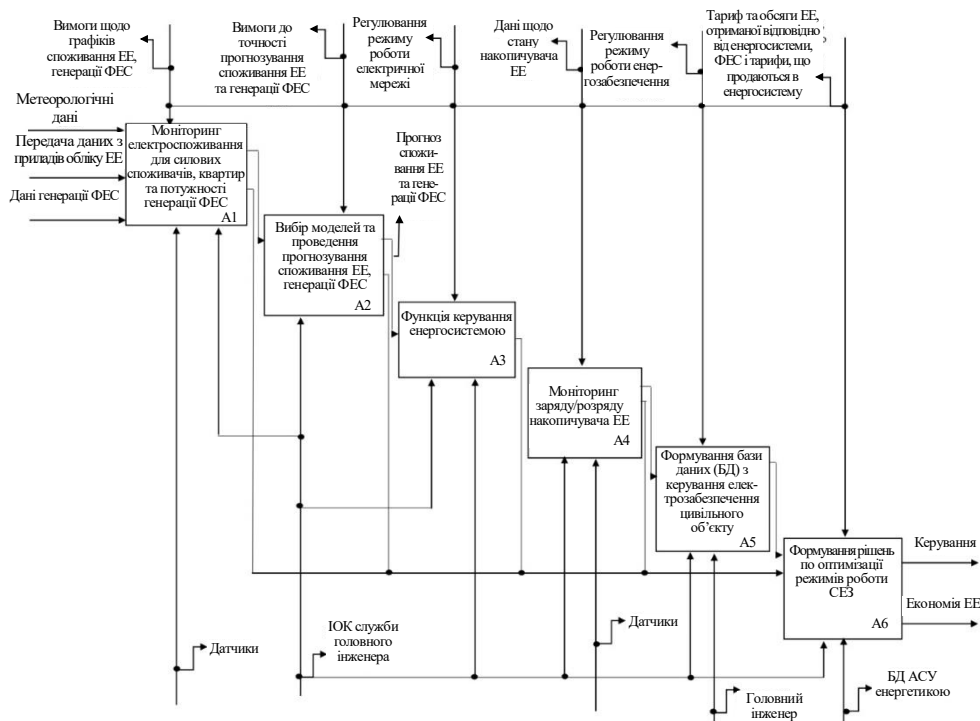


Рис. 3. Декомпозиція першого рівня контекстної діаграми моделі IDEF0 системи керування електрозабезпечення цивільних об'єктів з використанням ФЕС і накопичувачів ЕЕ

За результатами декомпозиції першого рівня на контекстній діаграмі моделі IDEF0 можна встановити, що система керування електрозабезпечення цивільних об'єктів з використанням ФЕС і накопичувачів ЕЕ складається із шести основних блоків, які є основними шляхами на найвищому рівні управління.

Грунтуючись на сформованій декомпозиції, зображеній на рис. 3, детальніше розглянемо перелік блоків, які представляють перший рівень нашої контекстної діаграми та їх функції:

A1 — моніторинг електроспоживання цивільного об'єкта для силових споживачів, квартир і потужності генерації ФЕС. Здійснюється автоматична передача даних з приладів обліку ЕЕ, датчиків генерації ФЕС, а також метеорологічних даних.

A2 — вибір моделей і проведення прогнозування споживання ЕЕ, генерації ФЕС. Виконується прогноз (короткостроковий, середньостроковий і довгостроковий) електричного навантаження ЦО на основі архівних даних споживання ЕЕ і факторів, які впливають на точність прогнозування (фактор дня, час доби, день тижня), графік генерації ЕЕ від ФЕС на основі архівних даних генерації ФЕС та архівних метеорологічних даних. Прогнозування проводиться з використанням

статистичних та інтелектуальних методів прогнозування (Kuevda, Baliuta, Zinkevich, & Stoliarov, 2021; Zinkevych, Baliuta, & Kuevda, 2022; Зінкевич, Балюта, & Куєвда, 2021; Зінкевич, Балюта, & Куєвда, 2022; Зінкевич, Балюта, Куєвда, & Столяров, 2021).

A3 — функція керування системою електрозабезпечення. Вихідними даними є прогнозний добовий графік споживання ЕЕ та прогнозний добовий графік генерації ЕЕ ФЕС. Формується графік електричної мережі. За цим графіком визначається скільки ЕЕ потрібно виробити, купити, продати та накопити ЕЕ.

A4 — моніторинг заряду/розряду накопичувача ЕЕ. На основі автоматизації збору й обробки інформації оцінюється поточний заряд накопичувача ЕЕ, допустимий мінімальний і максимальний заряд, кількість допустимих циклів заряду та розряду, ступінь старіння накопичувача.

A5 — формування бази даних (БД) з керування електрозабезпечення ЦО. Формуються прогнозні графіки споживання ЕЕ, генерації ЕЕ ФЕС, графік навантаження електричної мережі та графік заряду/розряду накопичувача ЕЕ.

A6 — формування рішень щодо оптимізації режимів роботи СЕЗ. Завданням оптимізації системи електрозабезпечення цивільних об'єктів є мінімізація оплати за електричну енергію за кожен день, отримана від енергосистеми та генерована ФЕС, НЕЕ, з використанням тарифів на ЕЕ.

На основі системного аналізу процесу керування електрозабезпеченням ЦО розроблена функціональна схема автоматизованої системи керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС і СНЕ (рис. 4).

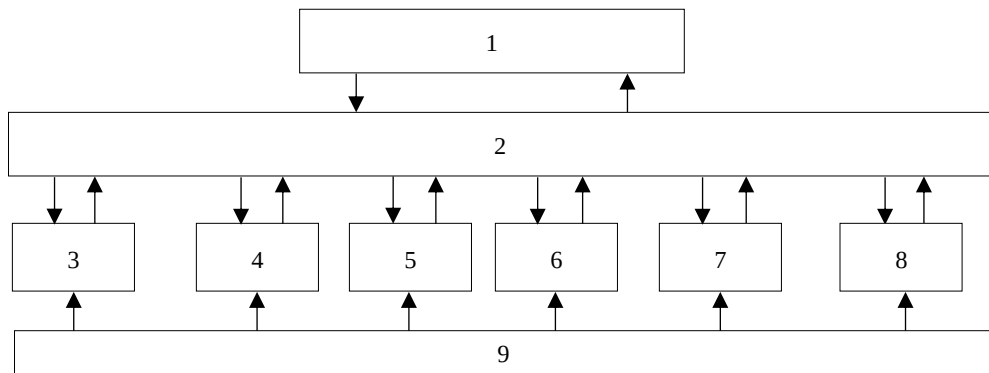


Рис. 4. Функціональна схема керування електроспоживанням та електропостачанням цивільного об'єкта: 1 — база даних АСК електрозабезпечення ЦО; 2 — база даних керування електрозабезпеченням ЦО; 3 — блок моніторингу потужності генерації ФЕС, електричних навантажень, електроспоживання: проводиться автоматична передача даних з приладів обліку ЕЕ і перевірка достовірності інформації; 4 — блок прогнозування потужності ФЕС й електричного навантаження ЦО: виконується прогноз (добовий, місячний і річний) для ЦО; 5 — блок моніторингу стану ФЕС; 6 — блок моніторингу стану НЕ; 7 — блок оптимізації режимів системи електрозабезпечення з використанням значень напруги, активної та реактивної потужності, отриманих від датчиків; 8 — блок контролю за показниками якості електричної енергії (ПЯЕЕ) за даними вимірювальних приладів і вибір засобів забезпечення нормативних ПЯЕЕ; 9 — організаційно-технічні засоби керування електрозабезпеченням ЦО

Для забезпечення функціонування функціональних блоків розробляються відповідні алгоритми керування.

Висновки

1. Розробку системи керування електрозабезпеченням ЦО доцільно проводити на основі системного аналізу процесу керування електрозабезпеченням для врахування взаємного впливу окремих елементів системи електрозабезпечення, визначення інформаційних потоків, етапів обробки інформації, порядку формування і умови реалізації керувальних дій.

2. Керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС та НЕ доцільно проводити за допомогою методів модельно-предикативного керування з використанням прогнозних значень електроспоживання та генерації ФЕС з урахуванням стану заряду АБ та допустимих циклів заряду-розряду. Це дасть змогу максимально використати енергію отриману від ФЕС, забезпечити енергоефективні режими роботи АБ СНЕ та зменшити пікові навантаження потужності мережі.

3. Для побудови автоматизованої системи керування електрозабезпеченням ЦО доцільно використовувати інформаційну модель даних, побудовану з використанням інформаційної СІМ моделі за об'єктно-орієнтованим принципом.

Література

Булига К., Булига О., Коцюбівська К. (2021). Використання методів програмної інженерії під час моделювання бізнес-проектів у сфері послуг. *Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері*, 4(2), 219—227. <https://doi.org/10.31866/2617-796X.4.2.2021.247486>.

Зінкевич П. О., Балюта С. М., Куєвда Ю. В. (2021). Інтелектуальна система керування з використанням нейронних мереж NARX для реалізації функції прогнозування вироблення електроенергії сонячними станціями. *VIII Міжнародна науково-технічна Internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами»*, 83—85.

Зінкевич П. О., Балюта С. М., Куєвда Ю. В. (2021). Порівняльний аналіз методів короткострокового прогнозування електричного навантаження на один крок вперед. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 27(3), 63—76. DOI:10.24263/2225-2924-2021-27-3-9.

Зінкевич П. О., Балюта С. М., Куєвда Ю. В. (2022). Порівняльний аналіз методів короткострокового багатокрокового електричного навантаження. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 28(1), 77—92. DOI:10.24263/2225-2924-2022-28-1-9.

Angenendt G., Zurmühlen S., Mir-Montazeri R., Magnor D., Sauer D. U. (2016). Enhancing Battery Lifetime in PV Battery Home Storage System Using Forecast Based Operating Strategies. *Energy Procedia*, 99, 80—88. DOI:10.1016/j.egypro.2016.10.100.

Alam M., Rahman M. H., Ahmed F., Chowdhury M., Jang Y. M. (2022). Deep learning based optimal energy management for photovoltaic and battery energy storage integrated home micro-grid system. *Scientific Reports*, 12(1), 15133. DOI:10.1038/s41598-022-19147-y.

Jeddi B., Mishra Y., Ledwich G. (2017). Dynamic programming based home energy management unit incorporating PVs and batteries, *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 1—5. doi: 10.1109/PESGM.2017.8273925.K.

Kallio S., Siroux M. (2022). A Review — Home Renewable Energy Management Systems in Smart Grids. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1050(1), 1—7. DOI:10.1088/1755-1315/1050/1/012001.

Kuevda Ju., Baliuta S., Zinkevich P., Stoliarov O. (2021). Forecasting the electricity generation of photovoltaic plants. *V International Scientific-Technical Conference Actual problems of renewable energy, construction and environmental engineering*, 37—38.

Santoso H., Mursid S., Prajogo S. (2018). Review: Home energy management system in a Smart Grid scheme to improve reliability of power systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105(1), 1—9. DOI:10.1088/1755-1315/105/1/012081.

Zhuo W. (2019). Control Strategies for Microgrids with Renewable Energy Generation and Battery Energy Storage Systems. *ArXiv abs*, 1—63. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1911.02126>.

Zinkevych P., Baliuta S., Kuevda Ju. (2022) Comparative computational analysis of the selection of battery energy storage for civil objects and parking with photovoltaic plants. *VI International Scientific-Technical Conference «Actual problems of renewable energy, construction and environmental engineering»*, 110—111.

THE CONTROL OF MICROBIOLOGICAL SAFETY OF FOODSTUFFS MADE WITH RESOURCE-EFFECTIVE TECHNOLOGIES

G. Simakhina, S. Kaminska

National University of Food Technologies

Key words:

Resource-effective
technology
Fruit-and-vegetable raw
materials
Quick freezing
Microbiological purity
HACCP system

Article history:

Received 06.07.2023
Received in revised form
21.07.2023
Accepted 04.08.2023

Corresponding author:

G. Simakhina
E-mail:
npnuht@ukr.net

Citation: Г. О. Сімахіна,
С. В. Камінська (2023).
Контроль мікробіологіч-
ної безпеки продукції ре-
сурсоефективних низько-
температурних техноло-
гій. *Наукові праці НУХТ*,
29(4), 126—136.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2023-29-4-12

ABSTRACT

The quality of foodstuffs is one of the most complicated and many-faceted categories for both a certain consumer and the producer enterprise. In this case, it is possible to mention it as a factor of the product's competitiveness. Therefore, providing the expedient quality control comprises an array of tasks to be solved during the entire cycle of food production on each of its stages, primarily with the usage of resource-effective technologies.

According to the main statements of the State Standard of Ukraine, quality control is the process of checking the compliance of quality indices with the established requirements confirmed in technical and other normative documents. Important is also the prevention of defective item output: particularly, in technologies of quick-frozen plant half products, such a threat becomes essential on the final stage, which is defrosting. It is quite apparent that food products quality control is aimed, first of all, at achievement of their safety for the consumer.

These conditions, upon implemented on updated food enterprises, can be provided on the base of HACCP system that, in process, would regard the analysis of all possible hazards (biological, physical or chemical) and accomplishment of the necessary corrections.

The analysis of literary data and the results of our own research show that the most dangerous for the plant materials processed with resource-effective freezing technology is the biological constituent, conditioned by discrepancy of the raw with the requirements to microbiological purity and otherwise connected with the conditions of its growing, storage and transporting, as well as the specifications of its biochemical composition, defrosting technological parameters and so on. Henceforth, the purpose of this work is to identify the biological dangerous factors and then to determine the possible hazards in obtaining the quick-frozen fruit-and-vegetable half products, from selection of raw materials up to defrosting and sale of finished items.

КОНТРОЛЬ МІКРОБІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОДУКЦІЇ РЕСУРСОЕФЕКТИВНИХ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Г. О. Сімахіна, С. В. Камінська

Національний університет харчових технологій

Якість харчової продукції є однією з найскладніших і багатопланових категорій як для конкретного споживача, так і для підприємства-виробника, і в цьому випадку йдеться також про один із найважливіших чинників його конкурентоспроможності. Тому забезпечення відповідної якості контролю охоплює комплекс завдань, які необхідно вирішувати впродовж усього циклу створення харчової продукції на кожному етапі її виробництва, зокрема при використанні ресурсоефективних технологій.

Згідно з основними положеннями Держстандарту України, контроль якості продукції — це перевірка відповідності показників якості встановленим вимогам до них у технічній та іншій нормативній документації. Важливим є також запобігання виникненню дефектних виробів: для технологій швидкозаморожених рослинних напівфабрикатів така загроза стає істотною на завершальному етапі при дефростації продукції. Цілком очевидно, що контроль якості харчової продукції орієнтовано передусім на досягнення її безпечності для споживачів.

На сучасних харчових підприємствах зазначені умови досягаються здебільшого на основі впровадження системи НАССР, у ході реалізації якої враховується аналіз усіх категорій потенційних ризиків — біологічних, хімічних, фізичних, і здійснюються відповідні корегувальні дії.

Аналіз літературних даних і результати власних досліджень свідчать про те, що для рослинних матеріалів ресурсоефективної технології швидкого заморожування найбільш небезпечним є біологічний складник, зумовлений невідповідністю сировини вимогам щодо мікробіологічної чистоти і пов'язаний з умовами її вирощування, зберігання, транспортування, особливостями біохімічного складу, технологічними параметрами дефростації тощо. Тому метою статті є ідентифікація біологічних небезпечних чинників і результати визначення можливих ризиків при отриманні швидкозаморожених плодоовочевих напівфабрикатів на всіх етапах їх виробництва, починаючи від вибору сировини до її дефростації та реалізації.

Ключові слова: ресурсоефективна технологія, плодоовочева сировина, швидке заморожування, мікробіологічна чистота, система НАССР.

Постановка проблеми. В розвитку та реалізації стратегії ресурсоефективних технологій одне з найважливіших завдань полягає у випуску безпечної для споживачів продукції з урахуванням усіх чинників, які формують і забезпечують її якість (Гончаренко, Макаренко, & Припугень, 2007; Сімахіна, 2021). Ці чинники досить багатопланові, вони враховують особливості споживчого ринку, апіорну необхідність дотримання існуючих вимог до безпеки та якості продукції (ДСТУ

ISO 9000:2015; ДСТУ ISO 9001:2015), аргументований підбір сировинних компонентів з огляду на специфіку готових продуктів, фізіологічної ефективності їхніх складників щодо впливу на організм людини тощо.

Швидке або шокове заморожування плодоовочевої сировини є яскравим прикладом сучасної ресурсоефективної технології, яка надає можливість з мінімальними втратами використати всю вирощену сировину, переробити її в короткі строки після збору, а впродовж року отримувати заморожені напівфабрикати з плодів та овочів, які зберігаються в регульованих газових середовищах (Масліков, 2003). Саме використання штучного холоду в усіх його модифікаціях і варіантах дає унікальну можливість зберегти в готових продуктах усі біологічно цінні компоненти сировини.

Плодоовочева сировина й отримані з неї заморожені напівфабрикати є найважливішим природним джерелом вітамінів, мінеральних елементів, мінорних сполук тощо впродовж усього року для всіх верств населення. Тому питання якості сировини, швидкозамороженої продукції, її безпеки вимагає дотримання відповідних засад управління та контролю, які в сучасних умовах здійснюються із застосуванням принципів системи НАССР як у країнах Західної Європи (Грищенко, 2013), так і на деяких вітчизняних підприємствах (Василенко, Миронюк, & Дорофєєва, 2008). На основі такого контролю здійснюється перевірка відповідності показників якості та безпеки продукції встановленим нормативам.

При отриманні швидкозаморожених плодоовочевих напівфабрикатів основними ризиками безпеки є мікробіологічна забрудненість сировини й отриманої продукції. Їхня мікрофлора представлена переважно пліснявими грибами та дріжджами, які інтенсивно розмножуються в середовищах із нейтральним або слабкокислою значенням рН та масовою часткою води 80—90%, що характерно для більшості плодів та овочів (згідно з Регламентом Комісії (ЄС) № 2073/2005 від 15 листопада 2005 р. про мікробіологічні показники для харчових продуктів). Швидкість перебігу мікробіологічних процесів зростає при недотриманні умов виробництва, а для заморожених плодоовочевих напівфабрикатів — під час їх дефростації.

Одним із найбільш ефективних і дієвих заходів отримання замороженої плодоовочевої продукції високої якості та належного ступеня безпеки є забезпечення відповідних умов для зниження біологічних ризиків, спричинених невідповідністю сировини та напівфабрикатів вимогам мікробіологічної чистоти, недотриманням санітарних вимог виробництва на різних етапах технології, особливостями хімічного складу плодів та овочів. Ось чому важливим є вивчення програм передумов (НАССР, 2001).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При виробництві заморожених плодів та овочів важливо дотримуватися вимог і стандартів якості, що застосовуються до замороженої сировини, щоб забезпечити безпеку та якість кінцевого продукту. Загальні стандарти якості, які часто застосовуються для заморожених продуктів: ISO 9001, HACCP, ISO 22000, BRC Global Standard for Food Safety, EU Regulations (Awad, El-Makhzangy, & Soliman, 2013).

Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) — це система управління безпекою харчових продуктів, що визначає ризики і контрольні точки в харчовому процесі з метою запобігання можливості забруднення, включаючи заморожені

продукти. НАССР є широко використовуваною системою в харчовій промисловості для забезпечення безпеки продуктів (Awuchi, 2023). У випадку із замороженими продуктами основні етапи НАССР передбачають такі кроки: створення команди НАССР, складання докладного опису продукту, визначення потенційних небезпек, визначення критичних контрольних точок (ССР), встановлення критеріїв ССР, розробка моніторингової системи, розробка процедур контролю, впровадження внутрішнього аудиту, документування, навчання персоналу (Turhan, Cetin, & Özbağ, 2010; Hossain-Jany, Islam, Mazumder, & Uddin, 2016; Chiba, 2022).

Основні вимоги, які можуть бути застосовані до замороженої сировини: а) заморожена сировина повинна бути в гарному стані, без ознак пошкоджень, гнилі, забруднень або інших неприйнятних ознак. Вона повинна відповідати вимогам стандартів якості, встановлених для конкретного типу сировини (Gomez-Rodas, Bourquin, García-Salazar, Varela-Gómez, & Wise, 2013); б) заморожена сировина повинна бути швидко заморожена для запобігання росту шкідливих мікроорганізмів. Контроль мікробіологічної безпеки включає вимоги до мікробіологічних показників, таких як кількість бактерій, патогенних мікроорганізмів та інших забруднень (Cinar, & Onbasi, 2021); в) заморожена сировина заморожується при відповідних температурах, які забезпечують збереження якості та безпеки продукту. Вимоги до температури заморожування можуть відрізнятися залежно від типу сировини (Alsailawi, Mudhafar & Abdulrasool, 2020); г) заморожена сировина повинна бути належно упакована для запобігання забруднення, пошкодження та впливу зовнішнього середовища. Упаковка повинна бути герметичною та відповідати вимогам щодо матеріалів та якості упаковки (Kennedy, 2020). Важливо дотримуватися вимог і стандартів якості, що застосовуються до замороженої сировини, щоб забезпечити безпеку та якість кінцевого продукту.

Вимоги стандарту ISO 9001 можуть бути використані для розробки та впровадження системи управління якістю, яка забезпечує дотримання вимог якості та стандартів у виробництві й постачанні заморожених ягід. Якщо заморожені ягоди вирощуються та переробляються за органічними принципами, можуть застосовуватися стандарти органічного виробництва, зокрема European Union Organic Regulation або USDA Organic (Nicolas, 2006).

Виявлено, що стійкість мікроорганізмів до від'ємних температур залежить від ряду чинників: величини кристалів льоду, температури, швидкості її зниження, тривалості впливу, реакції середовища.

Професор Раїса Павлюк наводить результати експериментальних досліджень (Павлюк, & Дібрівська, 2013), згідно з якими заморожування фруктів та овочів рідким азотом із високою швидкістю охолодження (10...20) °C/хв до кінцевої температури –40 °C викликає зменшення кількості мікроорганізмів на 38...65%. Заморожування в діапазоні швидкостей від 1 до 10 °C/хв до температури –10...–20 °C сприяє загибелі всього 4...11% мікроорганізмів. Хоча, за даними Е. Алмаші та Ф. Мещерякова (1975), найбільша кількість мікробних клітин руйнується саме в інтервалі температур від –5 до –12 °C.

Відповідно до наведених міркувань, з урахуванням доступних джерел та інформації і на основі результатів проведених досліджень з отримання швидкозаморожених напівфабрикатів плодовоовочевої сировини визначено ступінь імовірності

виникнення небезпечних чинників та джерел їх надходження на окремих етапах життєвого циклу зазначеної продукції.

Мета статті: ідентифікація біологічних небезпечних чинників і результати визначення можливих ризиків при отриманні швидкозаморожених плодоовочевих напівфабрикатів на всіх етапах їх виробництва, починаючи від вибору сировини до її дефростації та реалізації. Це відображає життєвий цикл продукції як цілісної закритої системи.

Матеріали і методи. Для досліджень використано ягоди ожини (ДСТУ 691:2004 «Ожина свіжа») та капусту броколі сорту «Ягуар» (ДСТУ 8147:2015 «Капуста броколі свіжа»). Заморожені плодоовочеві напівфабрикати отримували таким чином: після приймання сировини, миття, очищення від сторонніх домішок їх заморожували розсипом у швидкоморозильній камері Frigoscandia (Швеція) при температурі $-35...-37^{\circ}\text{C}$, що відповідає параметрам швидкого заморожування (Li & Sun, 2002). Процес триває до досягнення у центрі плодів температури $-18 \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Заморожені плоди та овочі пакували у пакети по 500 г, дотримуючись вимог цілісності і герметичності упаковки, зберігали протягом 12 місяців (максимальний термін) при температурі $-18 \pm 1^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості не більше 95%. Перед реалізацією їх дефростували при температурі $34...40^{\circ}\text{C}$ на водяній бані.

Мікробіологічні дослідження на наявність у сировині та заморожених напівфабрикатах патогенних мікроорганізмів, бактерій, дріжджів, плісняви здійснювали методами, передбаченими в державних стандартах: 1044.15-94; 10444.12-88; 26670-91, 30518-91. Аналізи проводили чашковим способом кількісного обліку на твердих живильних середовищах. Загальну кількість бактерій визначали на м'ясопептонному агарі, кількість пліснявих грибів і дріжджів — на сусло-агарі.

Визначення контрольних точок керування та розроблення плану НАССР здійснювали на прикладі отримання заморожених ягід ожини та капусти броколі відповідно до послідовності технологічних етапів, наведених у табл. 1. З кожного потенційно небезпечного ризику на всіх етапах технологічного процесу отримання швидкозаморожених напівфабрикатів було сформульовано і дано відповідь на передбачені у класичному «дереві прийняття рішень» питання (Система НАССР, 2003). Наприклад, стосовно оцінки сировини процедура має такий вигляд.

Перше питання: Чи є потенційно небезпечний ризик у сировині?

Відповідь: Так, це ризик досить високий, це ризик мікробіологічного забруднення сировини.

Друге питання: Чи зберігається небезпечний чинник на неприйнятному рівні і чи є небезпека росту цього чинника?

Відповідь: Ні, цей чинник контролюється на етапі прийому сировини і далі при її заморожуванні, зберіганні та дефростації.

Третє питання: Чи є зниження рівня мікробіологічного забруднення на наступних етапах адекватним?

Відповідь: Так, це здійснюється передусім на етап миття, де не лише плоди та овочі очищуються від механічних домішок, а й зменшується їх мікробіологічне забруднення.

Четверте питання: Чи наступна операція усуватиме небезпечний чинник або знижуватиме можливість його виникнення до допустимого рівня?

Відповідь: Так, наступний етап — заморожування, сприяє зниженню рівня активності мікрофлори за рахунок холодового стресу та анабіозу; підвищення ризику можливе на етапі пакування при недотриманні санітарно-гігієнічних вимог, а також при дефростації.

Таблиця 1. Рівень мікробіологічної чистоти ягід після заморожування

Показник	Гігієнічний норматив	Ягоди ожини		Броколі	
		Свіжі	Заморожені	Свіжа	Заморожена
МАФАнМ, КУО/г	$5,0 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^2$	$4,3 \cdot 10^2$	$2,8 \cdot 10^2$
БГКП (коліформи) в 0,1 г	Не допускається	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Плісені, КУО/г	$5,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^1$	Не виявлено	$1,0 \cdot 10^1$	Не виявлено
Дріжджі, КУО/г	$2,0 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	$1,0 \cdot 10^1$	Не виявлено

Аналогічну оцінку потенційних ризиків було проведено для інших етапів технологічного процесу. В результаті встановлено, що критичними точками керування (КТК) при виробництві швидкозаморожених напівфабрикатів з плодів та овочів є сировина, етапи пакування та зберігання готової продукції, дефростація (підготовка до безпосереднього використання).

Викладення основних результатів дослідження. Відповідно до поставленої мети, мікробіологічні дослідження дослідних зразків ягід ожини і капусти броколі проводили відразу після заморожування, після дефростації і зберігання в дефростованому вигляді у холодильній камері при температурі $3...5\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом певного часу. Показники визначали в середній пробі зразків у триразовій повторюваності. У табл. 1 наведено результати оцінки мікробіологічної чистоти ягід ожини та броколі у свіжому вигляді та безпосередньо після заморожування.

Передусім слід зазначити, що патогенних мікроорганізмів, зокрема бактерій роду *Salmonella* (у 25 г), ні у свіжих зразках, ні у заморожених напівфабрикатах не виявлено.

Відповідно до наведених результатів, у досліджуваних об'єктах відсутні також бактерії групи кишкових паличок (коліформи). Дріжджі виявлено лише у зразку свіжої броколі, однак їхня кількість у 20 разів менша від гігієнічного нормативу. Кількість МАФАнМ у броколі ($4,3 \cdot 10^2$) вища, ніж в ожині ($2,9 \cdot 10^2$). Завдяки заморожуванню кількість МАФАнМ для ягід ожини зменшується на 27,6%, а для броколі — на 34,9%. Плісняві гриби у невеликих кількостях виявлено лише у свіжих ягодах.

Загалом, унаслідок заморожування зразків кількість мікроорганізмів зменшується на 28...56%, що узгоджується з результатами досліджень інших авторів (Белінська, Левицька, & Каменева, 2018). Це при тому, що заморожування ми вели методом швидкого зниження температури, при якій утворений дрібнокристалічний лід незначно руйнує плазматичні мембрани та клітинні оболонки як об'єктів заморожування, так і мікроорганізмів.

Ризику середнього ступеня небезпеки можна очікувати при дефростації заморожених плодів та овочів при недотриманні технологічних та санітарно-гігієнічних умов. Тому необхідними є дослідження впливу способів розморожування на показники мікробіологічної безпеки. Отримані результати наведено у табл. 2. Досліджували ягоди ожини у свіжому вигляді, заморожені і дефростовані через шість місяців зберігання при температурі -18°C .

Таблиця 2. Рівень мікробіологічної чистоти дефростованих ягід ожини

Досліджувані зразки	МАФАНМ, КУО/г	БГКП (коліформи), в 1 г	Плісняві гриби, КУО/г	Дріжджі, КУО/г
Заморожені ягоди (контроль)	$2,8 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Заморожені ягоди через 12 місяців зберігання	$2,3 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Дефростовані ягоди	$2,3 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено

Дефростацію проводили на водяній бані при $34...40^{\circ}\text{C}$.

Згідно з даними, у заморожених напівфабрикатах через 12 місяців зберігання не виявлено ні БГКП, ні пліснявих грибів, ні дріжджів. Навпаки, при зберіганні заморожених ягід при температурі -18°C кількість МАФАНМ зменшилась на 19,6%. Подібну тенденцію спостерігали й інші автори. Тобто руйнівний вплив заморожування на мікроорганізми продовжується і в процесі низькотемпературного зберігання.

Отримані результати показали також, що спосіб дефростації майже не впливає на рівень мікробіологічної чистоти напівфабрикатів, за винятком способу 3 — відігрів у холодильній камері. Очевидно, тут знову спрацьовує ефект температурного шоку, і кількість мікроорганізмів зменшується ще на 13%.

Ще однією контрольною точкою керування при виробництві замороженої плодоовочевої продукції є етап зберігання готових виробів, у тому числі дефростованих, тому дослідили також динаміку зміни мікробіологічних показників у дефростованих ягодах протягом певного періоду зберігання у холодильній камері при температурі $5...6^{\circ}\text{C}$ протягом 2, 24 і 36 годин. Результати наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Вплив тривалості зберігання дефростованих ягід ожини на рівень мікробіологічної чистоти

Досліджувані зразки	Тривалість зберігання, години	МАФАНМ, КУО/г	БГКП (коліформи), в 1 г	Плісняві гриби, КУО/г	Дріжджі, КУО/г
Заморожені ягоди (контроль)	—	$2,8 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Заморожені ягоди через 12 місяців зберігання	—	$2,3 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено

Дефростовані ягоди	2	$2,0 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
	24	$2,0 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	$1,0 \cdot 10^1$
	36	$2,0 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	$3,0 \cdot 10^1$

Згідно з табличними даними, протягом першої доби зберігання дефростованих ягід з'явилась невелика кількість дріжджів, яка збільшилась до кінця зберігання до $3,0 \cdot 10^1$ КУО/г, однак ця величина значно менша від гігієнічного нормативу ($2,0 \cdot 10^2$). Ні патогенних мікроорганізмів, ні коліформ, ні пліснявих грибів за досліджений термін у ягодах не виявлено.

На основі результатів проведених досліджень ми розробили рекомендації щодо термінів зберігання заморожених та дефростованих плодів і овочів:

- заморожені, запаковані у герметичній упаковці — 12 місяців (при температурі -18°C і відносній вологості повітря не менше, ніж 95%);
- дефростовані у готовому для споживання вигляді зразки слід зберігати протягом 24 годин (при температурі $5...6^\circ\text{C}$ і відносній вологості 85...90%).

Більш тривале зберігання продукції не гарантує належних показників її мікробіологічної безпеки.

Ідентифікацію мікробіологічних небезпечних чинників і результати визначення можливих ризиків і корегувальні дії при отриманні швидкозаморожених плодовоовочевих напівфабрикатів наведено у табл. 4. Ключовим моментом взаємозв'язку всіх елементів ресурсоефективної низькотемпературної технології є те, що кожному з наступних етапів технологічного процесу передують аналіз результатів попереднього етапу і прийняття конкретних рішень та корегувальних дій.

Таблиця 4. Ідентифікація та оцінювання біологічних небезпечних чинників при отриманні швидкозамороженої плодовоовочевої продукції

Назва етапу	Небезпечні чинники, що виникають, посилюються або контролюються на цій стадії	Джерела виникнення чи посилення небезпечного чинника	Результати оцінювання ризику	Заходи управління
Приймання сировини та матеріалів	Патогенні, умовно патогенні мікроорганізми, загальне мікробне забруднення, плісневі гриби, дріжджі (вегетативні та споріві форми), шкідники, комахи	Забруднення сировини, тари, ушкодження пакувальних одиниць, навколишнє середовище, персонал	Високий	Робота з постачальниками, контроль відповідності сировини вимогам нормативних документів

Зберігання	Патогенні, умовно патогенні мікроорганізми, загальне мікробне забруднення, плісеньові гриби, дріжджі, шкідники, комахи	Недотримання умов зберігання (температурний, вологісний режими), санітарний стан приміщення, порушення товарного сусідства	Низький	Контроль правил складування та товарного сусідства. Контроль санітарного стану приміщення
Миття	Загальне мікробне забруднення, БГКП, віруси	Вода, обладнання, навколишнє середовище	Низький	Контроль якості води, санітарної обробки обладнання
Звільнення від домішок	Загальне мікробне забруднення, БГКП, віруси	Персонал, обладнання, навколишнє середовище	Низький	Контроль якості обробки обладнання та дотримання санітарних вимог
Нарізання	Загальне мікробне забруднення, БГКП, віруси	Персонал, обладнання, навколишнє середовище	Низький	Контроль якості обробки обладнання та дотримання санітарних вимог
Звільнення від залишків волог	Загальне мікробне забруднення, БГКП, віруси	Персонал, обладнання, навколишнє середовище	Низький	Контроль якості обробки обладнання та дотримання санітарних вимог
Заморожування	БГКП, спорові форми мікроорганізмів	Персонал, обладнання	Низький	Контроль якості обробки обладнання та дотримання санітарних вимог
Пакування	БГКП, спорові форми мікроорганізмів	Персонал, обладнання	Середній	Контроль герметичності пакування
Маркування	БГКП, загальне мікробне забруднення	Персонал, навколишнє середовище	Низький	Контроль цілісності тари
Зберігання	БГКП, загальне мікробне забруднення, спорові форми мікроорганізмів	Навколишнє середовище, умови зберігання	Середній	Контроль температури та вологості, цілісності тари
Транспортування	БГКП, загальне мікробне забруднення, спорові форми мікроорганізмів	Транспортні засоби	Низький	Контроль температури, вологості, цілісності тари
Зберігання	БГКП, загальне мікробне забруднення, спорові форми мікроорганізмів	Санітарний стан приміщення, холодильне обладнання	Середній	Контроль температури, цілісності споживчої тари
Реалізація	БГКП, загальне мікробне забруднення, спорові форми мікроорганізмів	Навколишнє середовище, персонал, санітарний стан приміщення	Середній	Контроль температури, вологості, цілісності споживчої тари

Дефростація	БГКП, загальне мікробне забруднення, спорові форми мікроорганізмів, віруси	Навколишнє середовище, вода, посуд, гігієна споживача і медичного персоналу	Середній	Контроль тривалості зберігання; дотримання умов дефростації
-------------	--	---	----------	---

Відповідно до даних табл. 4, на етапі пакування, який визнано як КТК, контамінація продукції можлива при використанні пакувальних матеріалів, мікробіологічні показники яких не відповідають вимогам нормативних документів (ДСТУ 4837:2007) та гігієнічним і санітарним нормам при даній операції. З нашої точки зору, на цьому етапі важливо забезпечити контроль таких показників, як герметичність і цілісність упаковки, вона має бути непрозорою для захисту продукції від сонячного світла. Оптимальна маса напівфабрикату в упаковці — 500 ± 10 г, щоб її вміст можна було використати відразу (особливо в домашніх умовах) без повторного зберігання.

Таким чином, у результаті аналізу небезпечних мікробіологічних чинників установили критичні точки контролю на таких стадіях виробництва:

КТК № 1 — сировина та допоміжні матеріали;

КТК № 2 — етап пакування продукції;

КТК № 3 — етап зберігання продукції безпосередньо на підприємстві та в мережах реалізації;

КТК № 4 — етап дефростації заморожених плодів та ягід, тобто їх підготовка до безпосереднього використання.

Для кожної критичної точки контролю визначили критичні межі, процедури моніторингу, розробили конкретні корегувальні дії, які забезпечують недопущення переходу параметрів безпеки у зони критичного ризику і за допомогою яких усуватимуться відхилення на кожній КТК.

На основі отриманих результатів можна розробити план НАССР для підприємства з виробництва швидкозамороженої плодоовочевої продукції, що й буде предметом подальших досліджень.

Висновки

Оперативні знання з передбачення можливості виникнення небезпечних мікробіологічних чинників на етапах виробництва заморожених плодоовочевих напівфабрикатів дають змогу розробити корегувальні дії для створення належних умов отримання безпечної продукції відповідно до принципів НАССР.

Урахування наведених у статті результатів забезпечує в умовах підприємства: отримання якісної продукції і, відповідно, довіри споживачів до неї, що підвищуватиме рентабельність виробництва; дотримання належних гігієнічних і санітарних умов ведення технологічного процесу заморожування відповідно до міжнародних норм; підвищення відповідальності колективу за безпеку виробленої продукції на підприємстві, що веде до зростання його іміджу.

Література

Белінська, С. В., Левицька, С. О., Каменєва, Н. В. та ін. (2018). Особливості кристалотворення під час заморожування капусти броколі. *Харчова наука і технологія*. 12(3), 21—27. DOI: <https://dx.doi.org/10.15673/fst.v12i3.1036> (дата звернення 10.06.2023).

Василенко, Г., Миронюк, Г., Дорофєєва, О. (2008). Посібник для малих та середніх підприємств плодоовочевої галузі з підготовки та впровадження системи управління безпечністю харчових продуктів на основі концепції ХАССП. Київ: IFSQ.

Гончаренко, В. М., Макаренко, М. В., Припутень, В. Ю. (2007). *Формування стратегії управління розвитком промислового підприємства на основі показників ефективності*: монографія. Луганськ: Видавництво СНУ імені В. І. Даля.

Грищенко, Ф. О. (2013). Європейська система безпечності харчових продуктів. Історія створення. *Стандартизація. Сертифікація. Якість*, 1, 40–43. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ssia_2013_1_17 (дата звернення 10.06.2023).

Масліков, М. М. (2003). Швидке заморожування харчових продуктів. *Холод*, 3, 32–35.

Павлюк, Р. Ю., Дібрівська, Н. В. (2013). Комплексні дослідження під час розробки технології функціональних пастоподібних оздоровчих добавок із дикорослих ягід. *Library of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute."* URL: <https://core.ac.uk/reader/162871760> (access date 11.06.2023).

Система HACCP (2003). Львів: НТЦ «Леонорм-Стандарт».

Сімахіна, Г. О. (2021). Критерії придатності плодово-ягідної сировини до заморожування та їх практична реалізація. *Наукові праці НУХТ*, 27(3), 190–201. URL: <https://drive.google.com/file/d/1YdjpLq-ovWYzkHa4G417yCsITRSEhziC/view> (дата звернення 09.05.2023).

Alsailawi, H. A., Mudhafar, M., Abdulrasool, M. M. (2020). Effect of frozen storage on the quality of frozen foods: a review. *Journal of chemistry and chemical engineering*, 14(3), 86–96. DOI: 10.17265/1934-7375/2020.03.002.

Awad, M., El-Makhzangy, A., Soliman, M. (2019). Application of HACCP system, based on ISO 22000: 2005 methodology for producing strawberry concentrates. *Journal of Productivity and Development*, 24(1), 15–35. DOI: 10.21608/jpd.2019.41320.

Awuchi, C. G. (2023). HACCP, quality, and food safety management in food and agricultural systems. *Cogent Food & Agriculture*, 9, 29. DOI: 10.1080/23311932.2023.2176280.

Aycan, C., Elif, O. (2021). Monitoring environmental microbiological safety in a frozen fruit and vegetable plant. *Food Sci. Technol., Campinas*, 41(1), 232–237. DOI: 10.1590/fst.10420.

Chiba, T. (2022) Hazard analysis and critical control point (HACCP). *Journal of the Pharmaceutical Society of Japan*, 142(1), 27–31. DOI: 10.1248/yakushi.21-00161-3.

Gomez-Rodas, A., Bourquin, L., García-Salazar, C., Varela-Gómez, A., Wise J. C. (2013). Good agricultural practices for food safety in blueberry production: basic principles. *Michigan State University Extension Central Region, Ottawa*, 26, 68. URL: https://www.canr.msu.edu/uploads/files/UPDATED_Food_Safety_Manual.pdf (access date 09.06.2023).

HACCP (2001). HACCP: Hazard Analysis and Critical Point. Gainesville, Florida, USA: Publication SGR120.

Hossain-Jany, N., Islam, R., Mazumder, A. R., Uddin, B. (2016). Design and application of hazard analysis critical control point principles for typical frozen vegetables. *Journal of Food Safe and Hygiene*, 2(1–2), 8–14. <https://www.sciencedirect.com/journal/food-control> (access date 10.06.2023).

Kennedy, C. J. (2000). Freezing Processed Foods. *Managing Frozen Foods*, 137–158. DOI: 10.1533/9781855736528.137.

Li, B., Sun, D. W. (2002). Novel methods for rapid freezing and thawing of foods: a review. *Journal of Food Engineering*, 54, 175–182. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00209-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00209-6).

Nicolas, P. et al. (2006). Effects of European organic farming policies at sectoral level and societal levels. *Aspects of Applied Biology*, 79, 163–166. URL: <http://hdl.handle.net/2160/2748> (access date 11.06.2023).

Turhan, S., Cetin, B., Özbağ, B. C. (2010). Implementation of the hazard analysis critical control point (HACCP) system in a frozen fruit company. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(2), 60–67. DOI: <https://doi.org/10.1234/4.2010.1565>.

STUDY OF THE ENZYMATIC EXTRACTION OF PLANT ANTIOXIDANTS

A. Demydova

National Technical University "Kharkiv Polytechnical Institute"

T. Nosenko, Y. Shemanska

National University of Food Technologies

Key words:

*Vegetable antioxidants
Enzymatic extraction
Cellulose
Pectinase
Lecithin
Induction period
Antioxidant activity*

Article history:

Received 05.07.2023
Received in revised form
21.07.2023
Accepted 08.08.2023

Corresponding author:

Y. Shemanska

E-mail:

shemanska@ukr.net

Citation: А. О. Демидова, Т. Т. Носенко, Є. І. Шеманська (2023). Дослідження ефективності ферментативного екстрагування рослинних антиоксидантів. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 137—1147.
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-13

ABSTRACT

One of the directions of "green technologies" is the use of safe solvents in combination with enzymes to extract antioxidants from plant raw materials. This work was aimed on the study of the influence of hydrolytic enzymes (cellulases, pectinases, β -glucanases, and xylanases) on the process of antioxidant extraction. To extract the lipophilic antioxidants sunflower gummies were also used as a source of phospholipids. Enzymes resulted in a significant increase in antioxidants recovery from viburnum bark and burdock root compared to water-ethanolic extraction. For viburnum bark, this increase was 186% (5.67 and 3.05 g/kg, respectively), and for burdock roots — 144% (7.79 and 5.41 g/kg, respectively). The effect of the obtained extracts on the process of sunflower oil oxidation was also investigated by the volumetric method under the conditions of initiated oxidation. The burdock root extract obtained by enzymatic extraction had 9% higher efficiency of inhibition of sunflower oil oxidation compared to the traditional water-ethanolic quote, for viburnum bark this increase was 12.4%. The investigated plant extracts were in the order of decreasing antioxidant activity: burdock roots (enzymatic extraction, antioxidant activity 2.88) > viburnum bark (enzymatic extraction, antioxidant activity 2.820 > burdock roots (conventional extraction, antioxidant activity 2.64) > viburnum bark (conventional extraction, antioxidant activity 2.51) > butyl hydroxy anisole, (antioxidant activity 1.69).

Thus, enzymatic extraction in the presence of phospholipids is an effective method of accelerating of the natural antioxidant extraction from plant materials.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ЕКСТРАГУВАННЯ РОСЛИННИХ АНТИОКСИДАНТІВ

А. О. Демидова

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Т. Т. Носенко, Є. І. Шеманська

Національний університет харчових технологій

Одним з напрямків «зелених технологій» є застосування безпечних екстрагентів у поєднанні з ферментами для вилучення антиоксидантів з рослинної сировини. В статті досліджено вплив гідролітичних ферментів (целюлази, пектинази, β -глюканази і ксиланази) на процес екстрагування антиоксидантів. З метою вилучення ліпофільних антиоксидантів з рослинної сировини застосовували також соняшничковий гідратаційний осад як джерело фосфоліпідів. Ферментативне екстрагування показало суттєве збільшення екстрагування антиоксидантів з кори калини та коріння лопуха порівняно з водно-спиртовим екстрагуванням. Для кори калини ця різниця становила 186% (5,67 та 3,05 г/кг, відповідно), для коріння лопуха — 144% (7,79 та 5,41 г/кг, відповідно). Було досліджено також вплив одержаних антиоксидантів на процес окиснення соняшникової олії волюметричним методом в умовах ініційованого окиснення. Екстракт коріння лопуха, вилучений ферментативним екстрагуванням, мав на 9% вищу ефективність гальмування окиснення соняшникової олії порівняно з традиційним водно-спиртовим екстрактом, для кори калини ця різниця становила 12,4%. Досліджені екстракти рослин за зменшенням антиоксидантної активності знаходяться в порядку: коріння лопуха (ферментативне екстрагування, антиоксидантна активність 2,88) > кора калини (ферментне екстрагування, антиоксидантна активність 2,82) > коріння лопуха (звичайне екстрагування, антиоксидантна активність 2,64) > кора калини (звичайне екстрагування, антиоксидантна активність 2,51) > бутилгідроксианізол, антиоксидантна активність 1,69).

Отже, ферментативне екстрагування в присутності фосфоліпідів є ефективним методом інтенсифікації екстрагування природних антиоксидантів з рослинної сировини.

Ключові слова: рослинні антиоксиданти, ферментативне екстрагування, целюлаза, пектиназа, лецитин, період індукції, антиоксидантна активність.

Постановка проблеми. Біологічно активні компоненти рослин, зокрема антиоксиданти (АО), позитивно впливають на стан здоров'я людини — завдяки знешкодженню вільних радикалів знижують ризик хронічних захворювань, таких як рак, хвороби серця, інсульт та хвороба Альцгеймера (Vaiserman та ін., 2020). При застосуванні АО в харчових продуктах здійснюється подвійний ефект — позитивний вплив АО на показники окиснення жирів і посилення антиоксидантного захисту організму людини.

Кора або листя багатьох рослин характеризуються максимальною антиокси-

дантною активністю їх екстрактів (Demydova, Aksonova, & Kameneva, 2022). Однак ці частини рослин є важко проникними для розчинників завдяки міцним клітинним оболонкам. У зв'язку з цим актуальною проблемою є інтенсифікація процесу екстрагування біологічно цінних компонентів із такої сировини. Запропоноване введення емульгатора в нашому дослідженні не лише підтримує стабільність суміші водно-спиртовий розчин АО-олія, але й можливо має позитивний вплив на сам процес екстрагування АО з рослинної сировини. Крім того, пропонується використати високоенергетичний метод емульгування за допомогою гомогенізації з високою енергією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Гідролітичні ферменти мають здатність руйнувати клітинні стінки і мембрани рослин, що забезпечує краще вивільнення біоактивних речовин, зокрема АО. Такі ферменти, як пектинази, целюлази, гідролази й амілази, широко використовуються для руйнування клітинних стінок у технології підготовки сировини до вилучення олії (Nosenko, Vovk, & Koroluk, 2019), для обробки соків та освітлення пива і підвищення вилучення соку. Недавні дослідження екстракції за допомогою ферментів показали інтенсифікацію екстрагування, зменшене використання розчинника та зменшення споживання енергії порівняно з неферментативними методами (Shamraja, & Virendra, 2019).

Найбільш поширеними АО рослин є фенольні сполуки (Sharma, Cheng, & Chakkaravarthi, 2019). Здебільшого фенольні сполуки ковалентно зв'язані зі структурними компонентами клітинної стінки, такими як целюлоза, геміцелюлоза та пектин.

У дослідженнях (Meini, Cabezudo, & Romanini, 2019) виявлено, що целюлаза не має ефекту при окремому застосуванні, тому застосовували комплекс ферментів. Для максимально ефективного вилучення АО з рослин було вирішено застосовувати як оптимальні ферменти суміш целюлази (каталізує гідроліз целюлози на моноцукри) та пектинази (каталізує гідроліз пектину). Вони руйнують клітинні оболонки (целюлоза і пектин є основними полімерними компонентами клітинних стінок рослин) і дають змогу підвищити вилучення у екстракт як гідрофільних, так і гідрофобних речовин. Як джерело целюлази було вирішено використати комплексний ферментний препарат Целлолюкс-А, який окрім целюлазної активності проявляє також β -глюканазну і ксиланазну активності. β -глюкани та ксилани також формують, поряд з целюлозою і пектином, стінки рослинних клітин.

З метою підвищення вилучення ліпофільних антиоксидантів з рослинної сировини вирішено застосовувати в суміші екстрагентів також лецитин. Одержаний продукт містить природний емульгатор, що дає змогу застосовувати одержану композицію як АО і для емульсій та жирів. Як відомо, лецитин здатен підтримувати у стабільному стані наноемульсії, тобто за певних умов дає змогу підтримувати, наприклад, у стабільному стані ліпофобні біоактивні речовини в складі жиру. Наноемульгування підвищує стабільність антиоксиданту, його біодоступність (емульсії легко засвоюються організмом), тривалість його прооксидантного впливу, створює більшу поверхню доступу до антиоксиданту та маскує органолептичні особливості антиоксиданту (Sharma, Cheng, & Chakkaravarthi, 2019).

На сьогодні немає даних щодо комплексного впливу пектинази, целюлази, β -глюканази і ксиланази на процес вилучення антиоксидантів з рослинної сировини, у тому числі кори калини, коріння лопуха, які за нашими попередніми дослідженнями продемонстрували високі значення антиоксидантної ефективності за умов звичайного екстрагування (Demydova та ін., 2022). Також відсутні порівняльні дані щодо впливу одержаних з/без гідролітичних ферментів екстрактів на гальмування окиснення рослинних жирів.

Корені лопуха великого проявляють антиоксидантну, протизапальну і гіполіпідемічну активність (Опрошанська, Осолодченко, & Хворост, 2021). Переваги кори калини для здоров'я (традиційно використовується для лікування таких захворювань, як кашель, застуда, туберкульоз, ревматичні болі, виразка, проблеми зі шлунком і нирками) є наслідком наявності біоактивних компонентів, таких як фенольні сполуки, вітамін С, каротиноїди, іридоїди та ефірні олії (Kajszczak, Zakłós-Szyda, & Podsędek, 2020). Кора калини за дослідженням (Polka, Podsędek, & Koziołkiewicz, 2019) характеризується вищим за інші частини цієї рослини вмістом флаванолів (перш за все катехіну), містить більше кислот, які проявляють АО властивості. Катехін і хлорогенова кислота — основні феноли цієї рослини.

Мета статті: застосувати ферментне екстрагування для максимально ефективного вилучення АО з рослинної сировини, одержати порівняльні дані вилучення біоактивних речовин в умовах звичайного та ферментативного водно-спиртового екстрагування, а також дослідити антиоксидантні ефекти одержаних екстрактів щодо окиснення рослинного жиру.

Матеріали і методи. Як модель окиснення використовували рафіновану дезодоровану соняшникову олію (ТМ «Олейна»). Пляшку відкривали перед початком дослідження і зберігали при температурі -5°C без доступу світла не більше чотирьох тижнів.

Рослинна сировина (кора калини, коріння лопуха) була придбана в аптеках України. Всі рослини було подрібнено на висушено при 40°C під потоком повітря у витяжній сушильній шафі до вмісту води $\leq 1\%$. Рослинну сировину подрібнювали за допомогою лабораторного млина (марка RRH — 100, Україна, кількість обертів за хвилину — 28000, потужність — 700 W). Зразки просіювали через лабораторне сито з отворами = 1 мм та зберігали за температури -5°C і використовували протягом чотирьох тижнів. Перед початком екстрагування всю рослинну сировину розтирали у ступці протягом 20 секунд.

Як джерело фосфоліпідів застосовували соняшниковий гідратаційний осад, наданий українським виробником. Склад: вода — 65,5%, фосфоліпіди — 19,7%, нейтральні ліпіди — 12,1%. Свіжий гідратаційний осад зберігався при температурі 5°C без доступу світла не більше чотирьох діб.

Як джерело целюлази, β -глюканази і ксиланази був використаний комплексний ферментний препарат Целлолюкс-А. Як джерело пектинази — ферментний препарат Пектолад. Специфікація наведена у табл. 1.

Для одержання екстрагенту для ферментного екстрагування до суміші етиловий спирт — вода (співвідношення 50:50 відповідно) додавали 1% соняшникового гідратаційного осаду та 0, % суміші Пектоладу і Целлолюксу А (співвідношення 50:50). Одержану суміш гомогенізували за допомогою пропелерної мішалки (OS-20, Ukraine, 200 об/хв) протягом 5 хвилин.

Таблиця 1. Основні характеристики використаних ферментних препаратів

Ферментний препарат	Найменування показників	Характеристика
Целлолюкс-А	Зовнішній вигляд. Колір	Однорідний порошок від світло-кремового до світло-коричневого
	Масова частка вологи, %, не більш	10,0
	Целлолітична активність, одиниць/г	2000 ± 200
	Оптимальні значення: рН температура, °С	4,7 50
Пектолад	Зовнішній вигляд Колір	Однорідний порошок від світло-жовтого до жовто-коричневого кольору
	Масова частка вологи, %, не більш	15,0
	Целлолітична активність, КМЦ	35 од/г
	Оптимальні значення: рН температура, °С	3,7—4,3 25—55

Паралельно проводили екстрагування кори калини або коріння лопуха сумішшю води та етилового спирту (співвідношення 50:50 відповідно) для одержання порівняльних даних.

Для одержання екстрактів підготовлену сировину замочували в одержаному екстрагенті в скляній колбі з метою набрякання сировини. Тривалість замочування — 1 година. Потім підігрівали до 50 °С за допомогою нагрівального елементу магнітної мішалки (RIVA-04.4, RIVA-STAL, Ukraine) та проводили екстракцію впродовж 4 год при постійному перемішуванні. Гідромодуль екстракції становив 1:5 (мас./об.). Контроль температури здійснювали термopарою. Колба була приєднана до повітряного зворотного холодильника. Одержані екстракти відфільтровувались від рослинної сировини через паперовий фільтр (Whatman № 42). Розчинник із фільтрату вилучали у роторному випарнику за температури 40 °С. Одержані концентрати зберігались при –5 °С в закритих скляних бюксах без доступу світла не більше чотирьох тижнів і використовувались в дослідженні кінетики окиснення соняшникової олії.

Антиоксидантну активність (АОА) екстрактів вивчали волюметричним методом у манометричній установці шляхом дослідження кінетики окиснення соняшникової олії. Манометрична установка складається з реакційної комірки об'ємом 5 см³, що терmostатується, манометра, системи сполучних скляних трубок і кранів, які приєднані до джерела чистого (99,9%) кисню та вакуумного насосу, а також терmostата. Систему скляних трубок установки наповнювали чистим киснем. Вимірювання об'єму поглиненого зразком кисню (в мм³) за певний час здій-

снювали за зміною рівня стовпчика зафарбованої рідини, з'єднаного із реакційною коміркою із зразком олії. Одержані дані кінетики окиснення зразків олії (мм³/хв) перераховували в моль/с.

Об'єм кисню (V (O₂, моль/дм³) розраховували за формулою:

$$V(\text{O}_2, \text{моль/дм}^3) = \Delta V \times 10^{-6} \times 10^3 / (22,4 \times V_{\text{проби}}), \quad (1)$$

де 10^{-6} — коефіцієнт переведення об'єму кисню в дм³; 22,4 — об'єм 1 молю газу, дм³; $10^3/V_{\text{проби}}$ — коефіцієнт перерахунку кількості поглиненого кисню на 1 дм³ субстрату.

Дослідження проводили в умовах ініційованого окиснення, за рахунок термічного розкладання розчину АІБН (2,2' — азо-біс-ізо-бутіронітрил) у о-ксилолі. Введенням однакової кількості АІБН досягали постійної швидкості ініціювання. Дослідження проводили за температури 70 °С ($\pm 0,1$ °С) та концентрації [АІБН] = $2 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³ для всіх зразків. Графічним методом визначали значення періоду індукції (τ_i) як відрізок осі абсцис, що відсікається перпендикуляром з точки перетину дотичних до кінетичної кривої.

У дослідженнях кінетики окиснення соняшникової олії використовували синтетичний антиоксидант бутилгідроксианізол (0,2 г/кг олії) або одержаний концентрат біоактивних компонентів рослин аналогічної концентрації.

Ефективність гальмування процесу окиснення соняшникової олії позначали як антиоксидантну активність (АОА) і розраховували за формулою:

$$АОА = \tau_i / \tau_s, \quad (2)$$

де τ_i і τ_s — періоди індукції окиснення соняшникової олії з антиоксидантом і без нього відповідно.

Концентрацію антиоксидантів [ІнН] у моль/дм³ розраховували за формулою:

$$[InH] = \frac{1 \times [AIBH] \times (1 - e^{-K_p \times \tau})}{f} = 0,48 \times [AIBH] \times (1 - 0,9999^\tau), \quad (3)$$

де [АІБН] — концентрація ініціатора, моль/л; K_p — константа швидкості розпаду ініціатору, за $t = 70$ °С, $3,9 \cdot 10^{-5}$ с⁻¹; $1/f = 0,48$ (1 — вихід радикалів при розпаді однієї молекули ініціатора); τ — експериментально визначений період індукції, с.

Кожен експеримент проводили двічі. У статті вказані середні значення між двома дослідженнями. Середня квадратична похибка визначення не перевищувала 5%.

Викладення основних результатів дослідження. Відомо, що етиловий спирт забезпечує високу ефективність екстрагування фенольних сполук, що підтверджено результатами порівняльного екстрагування кори калини (Paşayeva, Kararenk, & Fatullayev, 2021). Спиртові екстракти мають максимальну антиоксидантну активність порівняно з іншими розчинниками (Robles-Ramírez, Monterrubio-López, & Beltrán-Orozco, 2016). Водночас вода є найбільш безпечним розчинником, проте водне екстрагування не забезпечує ефективного вилучення неполярних або деяких напівполярних сполук. Незважаючи на те, що ферментне екстрагування підвищує вихід екстрактивних речовин і у водному середовищі, є низка праць, які доводять більшу ефективність використання водно-етанольних сумішей у поєднанні з ферментами (Piazza, Romanini, & Meini, 2023). Наприклад, у праці (Meini, Cabezudo, & Romanini, 2019) показано, що водно-спиртове ферментне екстрагування втричі ефективніше за водне.

Параметри екстрагування встановлювали залежно від оптимумів активності ферментів. Як джерело фосфоліпідів використовували соняшниковий гідратаційний осад. Він уже є концентрованою емульсією, не потребує зусиль для розчинення у водно-спиртовому екстрагенті, коштує суттєво дешевше за висушений лецитин.

Ефективність вилучення антиоксидантів оцінювали за впливом одержаних екстрактів на кінетику окиснення соняшnikової олії. Це було зумовлене тим, що на разі антиоксиданти властивості не всіх компонентів рослин відомі, деякі ідентифікувати дуже складно (Saini, Panesar, & Bera, 2019). Крім того, доволі часто між різними антиоксидантами з однієї сировини спостерігається ефект синергізму, тому встановлення безпосередньо антиоксидантної активності одержаних екстрактів є раціональним підходом.

Результати вилучення біоактивних компонентів з кори калини та коріння лопуха наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Порівняльні результати ферментативного і звичайного способів екстрагування

Сировина	Параметри екстрагування	Кількість екстрагованих речовин, г/кг сировини
Кора калини	етиловий спирт:вода = 50:50	3,05±0,40
	етиловий спирт:вода = 50:50 + 1% гідратаційного осаду + 0,1% ферментів	5,67±0,54
Коріння лопуха	етиловий спирт:вода = 50:50	5,41 ±0,36
	етиловий спирт:вода = 50:50 + 1% гідратаційного осаду + 0,1% ферментів	7,79 ±0,48
	етиловий спирт:вода = 50:50 + 0,1% ферментів	7,06 ±0,56

Ферментативне екстрагування показало суттєве збільшення виходу біоактивних речовин з обох видів рослинної сировини. Для кори калини ця різниця склала 186% — з 3,05 до 5,67 г/кг. Для коріння лопуха — 144% — з 5,41 до 7,79 г/кг.

Додавання фосфоліпідів також підвищувало ефективність екстрагування біоактивних компонентів (табл. 2). Без додавання соняшnikового гідратаційного осаду їх вихід для коріння лопуха збільшився лише до 7,06 г/кг.

Дослідження процесу окиснення олії за температури навколишнього середовища та доступі кисню повітря потребує значної тривалості. Встановлення вмісту продуктів окиснення за стандартами Codex Alimentarius не дає повної інформації про ступінь окиснення: пероксидне число вимірює вміст лише первинних продуктів окиснення — гідропероксидів, анізидинове число — лише альдегідів. Утворення інших вторинних продуктів окиснення при не встановлюється, як і їх роль у загальному процесі кінетики окиснення олії. Дослідження кінетики окиснення волюметричним методом інформує про результати загального процесу окиснення, який залежить від сумарного вмісту каталізаторів та інгібіторів окиснення. Вимірювання кількості поглиненого кисню за одиницю часу надає можливість визначити тривалість періоду індукції окиснення. Після завершення періоду індукції починається так зване каталітичне окиснення, що характеризується високою швидкістю окиснення, під час чого спостерігається поглинання кисню

зразком у великих об'ємах. У результаті каталітичного окиснення жир швидко втрачає харчову цінність, накопичує суттєві кількості продуктів окиснення і вже не відповідає вимогам до харчових продуктів (Ghosh, Upadhyay, & Mishra, 2019). У зв'язку з чим саме дослідження тривалості періоду індукції є індикатором ефективності внесених антиоксидантів.

Результати дослідження кінетики окиснення соняшникової олії наведено на рисунку. Період індукції окиснення соняшникової олії без додавання антиоксидантів склав 1420 ± 40 с. Період окиснення соняшникової олії в присутності 0,2 г/кг бутилгідроксианізола (БНА) склав 2400 ± 50 с. В присутності такої ж кількості екстрагованих з коріння лопуха антиоксидантів (водно-етанольне екстрагування) період індукції становив 3750 с, а в присутності антиоксидантів з коріння лопуха, екстрагованих в присутності ферментів та гідратаційного осаду, – 4090 с.

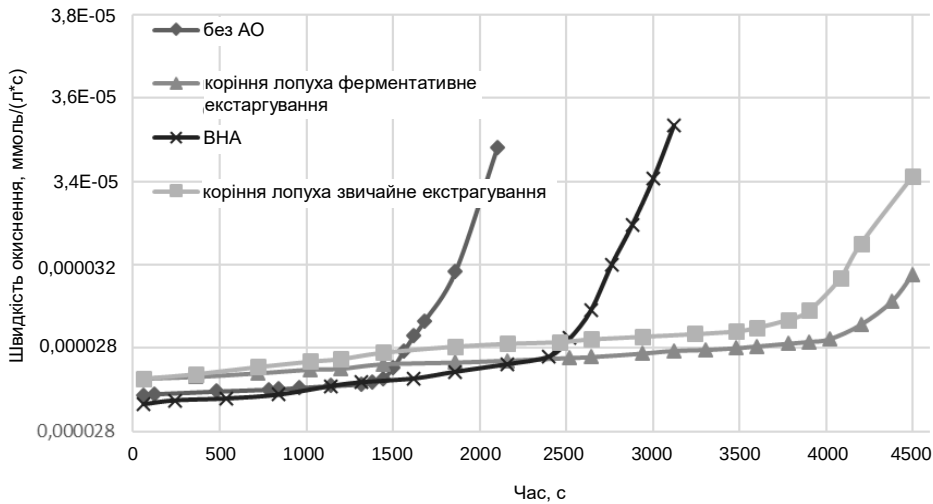


Рис. Кінетика прискореного окиснення соняшникової олії з/без введення АО (70 °C в присутності $2 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³ АІБН)

Імовірно різниця в антиоксидантній активності екстрактів коріння лопуха, одержаних за різних варіантів екстрагування (комплекс АО, одержаний ферментативним екстрагуванням на 9,0% більш ефективний), пояснюється явищем синергізму або вилученням дещо іншого складу АО під впливом ферментів. Під час ферментативного екстрагування спостерігається більше різноманіття вилучених біоактивних речовин, присутні в екстракті фосфоліпіди також проявляють антиоксидантну активність (Sharma, & Chakkaravarthi, 2019).

Результати досліджень зі встановлення тривалості періоду індукції окиснення соняшникової олії в присутності АО з рослин, а також розраховані значення антиоксидантної активності одержаних АО та концентрації інгібіторів у зразках олії з доданими АО наведено у табл. 3. Всі одержані екстракти проявили більшу ефективність як АО порівняно з бутилгідроксианізолом (Е 320). Тобто і кора калини і коріння лопухів за будь-якою обраною технологією екстрагування можуть бути використані як джерело потужних АО.

Таблиця 3. Значення кінетичних параметрів окиснення соняшникової олії в присутності АО та їхньої АОА

Сировина	Параметри екстрагування	Період індукції окиснення соняшникової олії в присутності АО, с	Антиоксидантна активність (АОА)	Концентрація інгібіторів в олії, моль/дм ³
Кора калини	етиловий спирт:вода = 50:50	3560±50	2,51	2,87×10 ⁻⁴
	етиловий спирт:вода = 50:50 + 1% СГ + 0,1% ферментів	4000±60	2,82	3,16×10 ⁻⁴
Коріння лопуха	етиловий спирт:вода = 50:50	3750±90	2,64	3,00×10 ⁻⁴
	етиловий спирт:вода = 50:50 + 1% СГ + 0,1% ферментів	4090 ±60	2,88	3,22×10 ⁻⁴
ВНА	—	2400±50	1,69	2,05×10 ⁻⁴

Примітка: СГ — соняшковий гідратаційний осад.

Однакові кількості концентратів АО кори калини, вилучених за традиційним екстрагуванням і ферментативним, проявили різну ефективність щодо гальмування швидкості окиснення соняшникової олії: одержаний за ферментативним екстрагуванням комплекс АО був на 12,4% більш ефективним (табл. 3). Комплекс АО коріння лопуха, вилучений за ферментативним екстрагуванням, на 9% більш ефективно гальмує окиснення соняшникової олії порівняно з одержаним традиційним способом. Встановлений вплив пояснюється вищою концентрацією інгібіторів окиснення в екстрактах, вилучених в присутності ферментів. Аналогічні дані були виявлені в дослідженні (Meini, Cabezudo, & Romanini, 2019) щодо значного впливу целюлази на вивільнення р-кумарової кислоти.

Досліджені екстракти слід розташувати за зменшенням АОА в послідовності: коріння лопуха (ферментне екстрагування) > кора калини (ферментне екстрагування) > коріння лопуха (звичайне екстрагування) > кора калини (звичайне екстрагування) > ВНА.

При близькому вмісті інгібіторів окиснення зразків олії з ВНА та екстракту із кори калини (звичайне екстрагування, 2,05×10⁻⁴ та 2,87×10⁻⁴ моль/дм³, відповідно) їх антиоксидантна активність відрізнялась більш суттєво — 1,69 та 2,51, відповідно. Це очевидно пояснюється можливими синергічними ефектами між складовими антиоксидантного комплексу кори калини.

Відомо також, що гідрофільні антиоксиданти мають більшу біодоступність для організму людини, порівняно з гідрофобними. Тому екстракти досліджених рослин є якісною альтернативою таким антиоксидантам як токоферолі та каротиноїди, які широко застосовуються у жирових продуктах (Sharma, 2019; Belwal, 2018; Vaiserman, 2020; Nosenko, 2019).

Висновки

Використання гідролітичних ферментів в поєднанні із застосуванням натурального емульгатора — суміші фосфоліпідів підвищує ефективність екстрагування

антиоксидантів із рослинної сировини. Ферментативне екстрагування дає змогу вилучати суттєво більшу кількість біологічно активних речовин порівняно зі звичайним водно-спиртовим екстрагуванням. В присутності 0,1% суміші Пектоладу (містить пектиназу) та Целлюладу А (комплексний ферментний препарат містить целюлазу, β -глюканазу і ксиланазу) та 1% соняшникового гідратаційного осаду вихід біоактивних речовин з кори калини збільшився на 186%. Для коріння лопуха це збільшення становило 144%. Присутність фосфоліпідів також позитивно впливає на ефективність екстрагування — за відсутності соняшникового гідратаційного осаду з коріння лопуха вилучилось лише на 130% більше екстрактивних речовин порівняно зі звичайним водно-спиртовим екстрагуванням.

Ефективність інгібування процесу окиснення соняшникової олії природними антиоксидантами була суттєво вищою порівняно з ефективністю бутилгідроксиданізолу, який подовжував період індукції олії у 1,69 раза. Одночасно екстракти, одержані ферментативним екстрагуванням, мали вищу антиоксидантну активність. Водно-етанольний екстракт кори калини у концентрації 0,2 мг/кг олії подовжував період індукції соняшникової олії у 2,51 раза. Екстракт кори калини, одержаний ферментативним екстрагуванням збільшував тривалість періоду індукції соняшникової олії у 2,82 раза. Для екстрактів коріння лопуха ці значення становили 2,64 та 2,88 раза, відповідно. Отже, поєднання ферментативного екстрагування з використанням фосфоліпідів є ефективним способом інтенсифікації екстрагування природних антиоксидантів із рослинної сировини.

Література

- Опрошанська, Т. В., Осолодченко, Т. П., Хворост О. П. (2021). Антимікробна активність настоек та рідких екстрактів із коренів лопуха великого, лопуха малого та лопуха павутистого. *Фармацевтичний часопис*, 4. 46—52. <https://doi.org/10.11603/2312-0967.2021.4.12512>.
- Belwal, T., Ezzat, S. M., Rastrelli, L., Bhatt, I. D., Daglia, M., Baldi, A. ... Atanasov A. G. (2018). A critical analysis of extraction techniques used for botanicals: Trends, priorities, industrial uses and optimization strategies. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 100, 82—102. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.12.018>.
- Demydova, A., Aksonova, O., Yevlash, V., Tkachenko, O., & Kameneva, N. (2022). Антиоксидантна активність екстрактів з рослин українського походження та їх вплив на окисну стійкість соняшникової олії. *Food Science and Technology*, 16(3), 55—64. <https://doi.org/10.15673/fst.v16i3.2514>.
- Ghosh, M., Upadhyay, R., Mahato, D. K. & Mishra, H. N. (2019). Kinetics of lipid oxidation in omega fatty acids rich blends of sunflower and sesame oils using Rancimat, *Food Chemistry*, 272, 471—477. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.072>.
- Kajszczak, D., Zakłós-Szyda, M. & Podśedek, A. (2020). *Viburnum opulus* L. — A Review of Phytochemistry and Biological Effects. *Nutrients*, 12, 3398. <https://doi.org/10.3390/nu12113398>.
- Meini, M.-R., Cabezudo, I., Boschetti, C. E. & Romanini, D. (2019). Recovery of phenolic antioxidants from Syrah grape pomace through the optimization of an enzymatic extraction process. *Food Chemistry*, 283, 257—264. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.037>.
- Nosenko T., Vovk G., Koroluk T. (2019), Effect of hydrolytic enzymes pretreatment on the oil extraction from pumpkin seeds, *Ukrainian Food Journal*, 8(1), 80—88. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2019-8-1-9>.
- Paşayeva, L., Kararenk, A. C. & Fatullayev, H. (2021). Screening of different fruit extracts from *Viburnum opulus* L. as inhibitors of key enzymes linked to type 2 diabetes and antioxidants: a comparative evaluation. *Food Measure*, 15, 4403—4410. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01007-4>.

Piazza, D. M., Romanini, D. & Meini, M. R. (2023). High-efficiency novel extraction process of target polyphenols using enzymes in hydroalcoholic media. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 107, 12205—1216. <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12386-7>.

Polka, D., Podsedek, A., & Koziolkiewicz, M. (2019). Comparison of Chemical Composition and Antioxidant Capacity of Fruit, Flower and Bark of *Viburnum opulus*. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(3), 436—442. <https://doi.org/10.1007/s11130-019-00759-1>.

Robles-Ramírez, M., Monterrubio-López, R., Mora-Escobedo, R., & Beltrán-Orozco M. (2016). Evaluation of extracts from potato and tomato wastes as natural antioxidant additives. Взято з <https://www.alanrevista.org/ediciones/2016/1/art-8/>.

Saini A, Panesar P. S., & Bera M. B. (2019). Valorization of fruits and vegetables waste through green extraction of bioactive compounds and their nanoemulsions-based delivery system. *Bioresources and Bioprocessing*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40643-019-0261-9>.

Shamraja, S. N., Virendra, K. (2019) A co-immobilization of pectinase and cellulase onto magnetic nanoparticles for antioxidant extraction from waste fruit peels. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 17, 470—479. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.12.015>.

Sharma, S., Cheng, S.-F., Bhattacharya, B., & Chakkaravarthi, S. (2019). Efficacy of free and encapsulated natural antioxidants in oxidative stability of edible oil: Special emphasis on nanoemulsion-based encapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 305—318. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.030>.

Shishir, M. R. I., Xie, L., Sun, C., Zheng, X., & Chen, W. (2018). Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 34—60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.018>.

Vaiserman, A., Koliada, A., Zayachkivska, A., & Lushchak, O., (2020). Nanodelivery of natural antioxidants: an anti-aging perspective. *Front. Bioeng. Biotechnol*, 7, 447. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00447>.

STUDY OF NUTRITIONAL CHARACTERISTICS OF UNIVERSITY STUDENTS AND THEIR LEVEL OF UNDERSTANDING RISK FACTORS FOR CHRONIC NON-COMMUNICABLE DISEASES

A. Bashta, N. Stetsenko, S. Bazhay-Zhezherun

National University of Food Technologies

Key words:

Health
Healthy lifestyle
Rational nutrition
Chronic non-communicable diseases
University students

Article history:

Received 03.07.2023
Received in revised form 21.07.2023
Accepted 07.08.2023

Corresponding author:

A. Bashta

E-mail:

alla.sher.b@gmail.com

Citation: А. О. Башта, Н. О. Стеценко, С. А. Бажай-Жежерун (2023). Дослідження особливостей харчування студентської молоді і рівня її усвідомлення факторів ризику хронічних неінфекційних захворювань. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 148—161.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-14

ABSTRACT

The increase in the number of chronic non-communicable diseases among students is of particular concern all over the world. Studies among National University of Food Technologies (NUFT) students showed that their level of awareness of the risk factors for chronic non-communicable diseases was insufficient, and their diet was unbalanced. There is a number of obstacles and habits that interfere with a healthy lifestyle. Among the answers to the question of what prevents students from leading a healthy lifestyle, the following were the main obstacles: employment and lack of time for physical activity, organization of proper nutrition, and adequate sleep (73.2%); bad habits hindered 11.4% of respondents; 9.3% were unwillingness to take care of their health; and for 6.1%, it was a lack of information on healthy lifestyle skills.

It is well known that rational nutrition, physical activity, avoidance of bad habits, and healthy tempering are the main components of a healthy lifestyle, preservation and maintenance of health. Unfortunately, the analysis of students' nutrition showed that over 35.9% of them had an insufficient daily energy value, and in 18.2% of cases there was an excess of energy because of irrational distribution of the diet during the day. In addition, insufficient daily consumption of vegetables, fruit and berry crops, meat and fish was found. Thus, in the daily diet of students, vegetables and fruit were present in the ration of slightly more than half of the respondents (60.4% and 52%, respectively), meat - in 63.1% rations of the surveyed students of NUFT. And only 23.5% of respondents include fish in their diet at the recommended level 2—3 times a week. In contrast, students consumed a significant amount of bakery, pasta, confectionery, and sweet drinks.

Therefore, the article emphasized that special attention should be paid to the acquisition of healthy lifestyle skills by students, motivation for healthy eating as a key component of a healthy lifestyle.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-14

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ХАРЧУВАННЯ СТУДЕНТСЬКОЇ МОЛОДІ І РІВНЯ ЇЇ УСВІДОМЛЕННЯ ФАКТОРІВ РИЗИКУ ХРОНІЧНИХ НЕІНФЕКЦІЙНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

А. О. Башта, Н. О. Стеценко, С. А. Бажай-Жежерун
Національний університет харчових технологій

В усьому світі особливе занепокоєння викликає зростання серед студентської молоді захворюваності на хронічні неінфекційні захворювання.

Дослідження серед здобувачів Національного університету харчових технологій (НУХТ) показали, що рівень їх усвідомлення факторів ризику розвитку хронічних неінфекційних захворювань недостатній, харчування незбалансоване. На думку студентської молоді, існує низка перепон і звичок, які заважають вести здоровий спосіб життя. Серед відповідей на запитання, що заважає вести здобувачам здоровий спосіб життя, передусім зайнятість і брак часу на фізичну активність, організацію повноцінного харчування, повноцінний сон (73,2%); 11,4% опитаним заважають шкідливі звички; 9,3% — небажання займатися своїм здоров'ям і для 6,1% — це недостатня кількість інформації щодо навичок здорового способу життя.

Добре відомо, що раціональне харчування, фізична активність, відмова від шкідливих звичок, загартовування і є основними складовими здорового способу життя, збереження та підтримання здоров'я. На жаль, аналіз харчування здобувачів показав, що в понад 35,9% студентів добова енергетична цінність є недостатньою, а в 18,2% випадків спостерігається її надлишок на фоні нераціонального розподілу раціону протягом дня. Крім того, виявлено недостатнє щоденне споживання овочевих і плодово-ягідних культур, м'яса та риби. Так, у щоденному раціоні студентської молоді овочі та фрукти присутні трішки більше, ніж у половини опитаних (60,4% та 52% відповідно), м'ясо у 63,1% опитаних здобувачів НУХТ. А рибу у свій раціон на рекомендованому рівні 2—3 рази на тиждень включають лише 23,5% опитаних. Натомість студентська молодь споживає значну кількість хлібобулочних, макаронних і кондитерських виробів, солодких напоїв.

У статті акцентовано, що особливу увагу необхідно приділити отриманню студентською молоддю навичок здорового способу життя, мотивації до здорового харчування як основної складової здорового способу життя.

Ключові слова: здоров'я, здоровий спосіб життя, раціональне харчування, хронічні неінфекційні захворювання, здобувачі.

Постановка проблеми. Здоров'я — це одна з найбільших цінностей людини, а головним пріоритетом розвинутих держав є збереження і зміцнення здоров'я населення, забезпечення активного довголіття. Сучасною проблемою громадського здоров'я є швидке та неухильне зростання хронічних неінфекційних

захворювань (ХНІЗ), що негативно впливає на демографічні показники, працездатність та якість життя населення.

Особливе занепокоєння в усьому світі викликає зростання захворюваності на ХНІЗ серед молодих людей (Bennett та ін., 2018; Evrim Çelebi, Cemal Gündoğdu, & Aysel Kızılkaya, 2017; Tamanal Jerre Mae, & Kim Cheong, 2020). Загрозою є те, що вік розвитку неінфекційних захворювань значно помолодшав. За даними проведених наукових досліджень (Гармаш, 2018), значна частина студентів наприкінці професійного навчання обтяжена низкою серцево-судинних, шлунково-кишкових захворювань тощо.

Така негативна ситуація зі станом здоров'я населення значною мірою обумовлена низьким рівнем знань переважної більшості людей щодо закономірностей формування, зміцнення і збереження власного здоров'я, легковажним і нерідко безвідповідальним ставленням до цієї цінності, якою природа нагороджує людину разом із життям (Akseer та ін., 2020).

Стан здоров'я сучасної молоді — одна з найважливіших проблем сьогодення, що перебуває під впливом багатьох чинників, найбільш вагомим з яких є спосіб життя. Саме поведінкові фактори й відіграють вирішальну роль у розвитку ХНІЗ. І це насамперед нераціональне харчування, низька фізична активність, шкідливі звички.

Згідно зі стратегією ВООЗ, профілактика ХНІЗ за рахунок зміни способу життя набуває все більшого значення. Світовою практикою доведено, що, спираючись на доктрину «факторів ризику», є реальна можливість проводити профілактику ХНІЗ не тільки на індивідуальному рівні, але й на популяційному, перш за все серед молоді, формуючи в неї потреби у здоровому способі життя. Спрямування зусиль щодо профілактики неінфекційних захворювань на молодь — це збереження потенціалу майбутнього здоров'я нації, можливість суттєво вплинути на формування здорового способу життя, що дає перспективи реалізації загальнодержавних профілактичних заходів щодо неінфекційних захворювань (Сердюк та ін., 2019).

Ось чому, зважаючи на викладене вище, останнім часом з боку держави, суспільства та науковців зросла увага передусім до проблем формування та збереження здоров'я саме студентської молоді. Вона є достатньо специфічною групою населення, для якої характерно підвищення рівня розумового навантаження та психоемоційного стресу, різка зміна способу життя, зміна соціальних відносин, схильність до ризикової поведінки тощо (Yakymenko, Tsybulin, & Shapovalov, 2017).

Одним із важливих завдань підготовки здобувачів у вищих навчальних закладах має бути формування в них культури здорового способу життя, засвоєння основних знань щодо чинників ризику розвитку хронічних неінфекційних захворювань. На жаль, у вищих навчальних закладах викладання елементів здоров'я зберігаючих дисциплін має несистемний, ситуативний характер (Гармаш, 2018; Дудорова, 2009).

І сьогодні, коли система вищої освіти в Україні зазнає суттєвих перетворень, особливо актуальним є питання можливості підвищення обізнаності й усвідомлення студентською молоддю основ здорового способу життя та загрози для здоров'я факторів ризику розвитку ХНІЗ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні особлива увага приділяється надбанню студентською молоддю навичок здорового способу життя, до яких відносяться раціональне харчування, фізична активність, відмова від шкідливих звичок, загартовування.

Науковці (Даниленко та ін., 2018) зазначають, що серед молодих, працездатних людей відбувається зростання поширеності захворювань, які формуються в умовах постійних стресових навантажень, ризикової та нездорової форми поведінки, незбалансованого раціону харчування, підвищеної чутливості молоді до дії виробничих чинників, їх високою реактивністю, втомлюваністю, недостатньою адаптованістю. Більшість молоді, навіть за наявності хронічних захворювань, схильна вважати себе здоровою та працездатною. Це пов'язано з властивою їм переоцінкою своїх сил і можливостей, часто відсутністю знань про донозологічні стани і чинники ризику чи небажання їх враховувати. Підкреслюється, що здоров'я молоді працездатної людини, у тому числі студентів, опірність до несприятливих умов зовнішнього середовища, розумова та фізична працездатність, ефективність навчання, значною мірою залежать від того, наскільки правильно вона харчується. І це є актуальною проблемою загальнодержавного масштабу, бо наслідками негативних тенденцій у харчуванні стають численні порушення здоров'я, зниження працездатності, що загалом негативно впливає на економічний розвиток.

Дослідники (Schneider та ін., 2013; Козік та ін., 2017) особливу увагу приділяють аналізу харчування здобувачів молодших курсів вищої школи, пошуку варіантів навчання та визначення акцентів формування свідомого ставлення до харчування як фактора збереження здоров'я і високої працездатності. Їх дослідження з вивчення якості раціонів студентів молодших курсів вищих навчальних закладів показало відсутність свідомого ставлення до харчування. Виявлено низький рівень вмінь і навичок здобувачів в організації власного харчування. А недостатній рівень знань про належне харчування є потенційним чинником погіршення здоров'я, виникнення первинних і вторинних аліментарних захворювань, зниження розумової працездатності. Запропоновано підвищувати рівень знань з практичної нутриціології здобувачів вищої школи як ефективної умови покращання стану їхнього здоров'я.

У дослідженнях і публікаціях (Банковська, 2008; Криничко, 2020; Григоренко, 2011; Цимбаліста, & Давиденко, 2008; Гуліч, 2011) показано, що в результаті неповноцінного харчування відбувається порушення обміну речовин, зростає захворюваність населення на розлади харчування та ендокринні хвороби, спостерігається виразна тенденція до набирання зайвої маси тіла та поширення ожиріння, хвороб системи кровообігу, онкологічних захворювань.

Також зазначається (Кривич, Чумак, & Гусєва, 2021), що проблемам поліпшення здоров'я приділяється недостатньо уваги. Адже чисельність населення падає, а важливу роль у формуванні показників захворюваності населення відіграють хронічні неінфекційні хвороби, рівень яких значно зріс. Структура захворюваності за останні 10—15 років змінилася, а особливу тривогу викликають найменш захищені групи населення: діти і підлітки, літні люди. Загальна патологічна ураженість дітей шкільного віку зросла і мала істотно вищий рівень серед дівчат, а не хлопців. Рівні захворюваності та поширеності хвороб у підлітків були досить

високими і мали хвилеподібний характер, а однією з основних причин цієї тенденції є нерациональне харчування.

М. І. Пересічний, П. О. Карпенко, С. М. Пересічна досліджували харчування студентів і сформулювали концепцію збереження та зміцнення здоров'я студентів, одним із шляхів яких є оптимізація їх харчування. Саме забезпечення здорового, раціонального харчування вони вважають важливою складовою в комплексі умов, необхідних для формування і розкриття творчого, духовного, культурного, фізичного потенціалу кожного здобувача. До проблем, що потребують невідкладних рішень дослідники відносять незбалансованість раціонів харчування як результат недостатнього вживання найбільш цінних у біологічному відношенні харчових продуктів, перевагу вуглеводно-жирового компонента, що призводить до появи надмірної маси тіла, розвитку порушень вуглеводного обміну, а також відсутність відповідних знань щодо здорового харчування у студентів (Пересічний, Карпенко, & Пересічна, 2011).

Науковці (Чернецька, 2014; Селезньова, 2020) у своїх дослідженнях також вказують на низький рівень освіти населення з питань здорового, раціонального та лікувально-профілактичного харчування. Все частіше люди харчуються продуктами та напоями, які є висококалорійними, але мають низьку харчову та біологічну цінність. Це негативно впливає на харчовий статус і здоров'я населення, особливо молоді, призводить до розвитку так званого «прихованого голоду», дефіциту нутрієнтів, передусім мінеральних речовин і вітамінів.

Науковці наголошують, що також одним із основних чинників незадовільного стану здоров'я переважної частини молоді є недостатня рухова активність. Дослідження (Круцевич, & Пангелова, 2016) свідчать, що брак рухової активності студентської молоді складає близько 70%. А вже лише за останні роки в Україні більш ніж утричі збільшилась кількість здобувачів, які мають відхилення у стані здоров'я і віднесені до спеціальної медичної групи. Їхня чисельність досягає 14%, а в окремих гуманітарних закладах вищої освіти — 30—40%.

За даними інших науковців, 40% здобувачів мають хронічні захворювання, понад 50% — незадовільну фізичну підготовку, 40% — слабкі уявлення про теорію здорового способу життя. За оцінкою фахівців, майже 90% майбутніх фахівців мають відхилення здоров'я, кожен другий має морфофункціональну патологію, а відсутність знань про культуру здоров'я та нехтування ним викликають тенденції до погіршення здоров'я молоді на сучасному етапі (Житомирський, 2021; Кошманюк, 2014).

Аналіз сучасних наукових джерел, присвячених проблемам здорового способу життя молоді, надає можливість зрозуміти, що рівень їх обізнаності факторів ризику ХНІЗ недостатній, харчування незбалансоване.

Тому **метою статті** стало дослідження показників обізнаності й усвідомлення серед студентської молоді факторів ризику ХНІЗ та визначення акцентів формування свідомого ставлення до здорового способу життя як основного фактора збереження здоров'я. Дослідження проведено серед здобувачів Національного університету харчових технологій (НУХТ). Вивчали особливості харчування та показники обізнаності щодо факторів, які призводять до розвитку ХНІЗ здобувачів Навчально-наукового інституту харчових технологій, спеціальності 181 «Харчові технології», які в подальшому безпосередньо братимуть участь у виробництві

харчових продуктів, впровадженні новітніх технологій і реалізовуватимуть політику здорового харчування.

Матеріали і методи. Дослідження проводилося за допомогою анкетно-опитувального методу. Використовувалися анкети-опитувальники у Google формах, які дають змогу використовувати різні типи запитань — від простих текстових і числових полів до складних шкал і сіток. Завдяки досить тонким налаштуванням за допомогою цього інструменту ми мали змогу провести онлайн-дослідження серед значної кількості молоді і враховувати в опитуванні загальні принципи та рекомендації ВООЗ.

Також було проведено дослідження з урахуванням статі опитуваних здобувачів. Так, усього в онлайн-дослідженні взяли участь (244) здобувачі, серед яких 60,2% склали здобувачі освіти жіночої статі та 39,8% — здобувачі освіти чоловічої статі. Вік респондентів коливався в межах 17—25 років. Отримані результати оцінювались за допомогою загальноприйнятих методів статистики (Лапач, 2001).

Викладення основних результатів дослідження. За даними порівняльного аналізу результатів анкетування, проведеного серед здобувачів НУХТ (зокрема в рамках вивчення навчальних дисциплін «Основи валеології: оздоровчі аспекти харчування», «Фізіологія харчування»), визначено рівень обізнаності здобувачів освіти жіночої та чоловічої статі щодо негативного впливу нерационального харчування, шкідливих звичок, низької фізичної активності на стан здоров'я людини, особливості харчування молоді.

Першочергово визначено показники обізнаності здобувачів НУХТ щодо впливу здорового способу життя як основного фактора ризику розвитку ХНІЗ. Встановлено, що переважна більшість опитаних (близько 90%) виявляє обізнаність щодо впливу цього фактора на стан здоров'я людини. При цьому про вплив здорового способу життя як основного фактора ризику розвитку ХНІЗ відомо для 91,4% здобувачів освіти жіночої та 89,6% здобувачів освіти чоловічої статі (рис. 1).

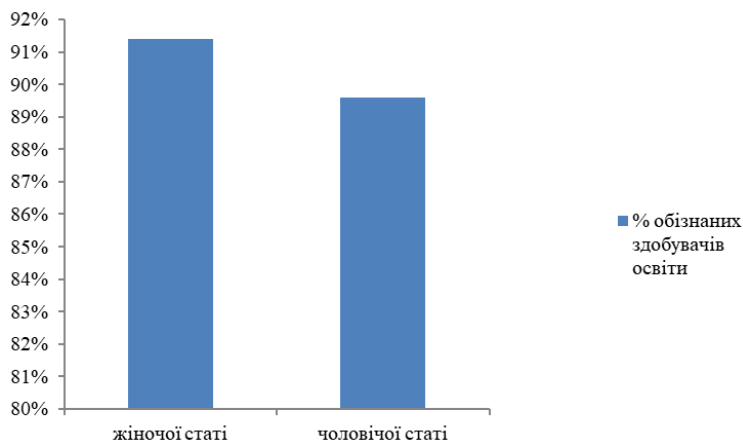


Рис. 1. Показники обізнаності здобувачів НУХТ щодо впливу здорового способу життя як основного фактора ризику розвитку ХНІЗ

Також визначено рівень обізнаності здобувачів освіти жіночої та чоловічої статі щодо негативного впливу основних складових здорового способу життя, зокрема нераціонального харчування, шкідливих звичок, низької фізичної активності на стан здоров'я людини. При анкетуванні вказали, що відомо про негативний вплив нераціонального харчування, як основного чинника ризику розвитку ХНІЗ для 90,5% здобувачів НУХТ, про вплив шкідливих звичок на стан здоров'я (88,4%). Частка обізнаних студентів щодо негативного впливу на здоров'я низької фізичної активності серед опитаних студентів склала 79,3% (рис. 2).

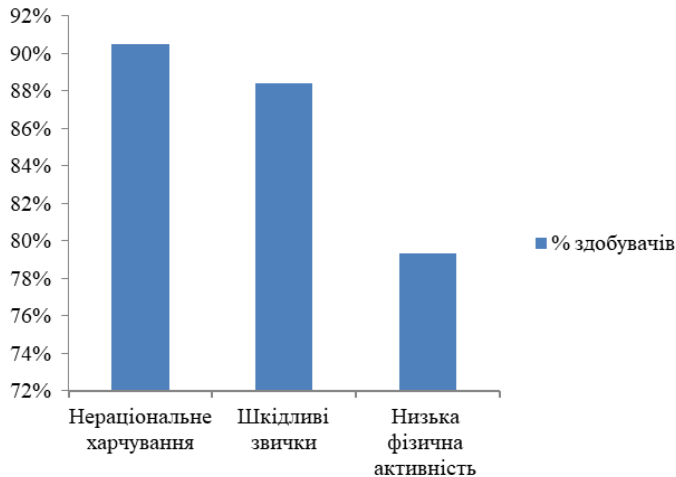


Рис. 2. Рівень обізнаності здобувачів щодо негативного впливу нераціонального харчування, шкідливих звичок, низької фізичної активності на стан здоров'я людини

Показники обізнаності студентів щодо негативного впливу шкідливих звичок дещо відрізняються за статтю та видом шкідливої звички (тютюнопаління, споживання алкоголю, наркотиків) (рис. 3). Майже всі опитані здобувачі при анкетуванні вказали, що їм відомо про негативний вплив шкідливих звичок на стан здоров'я (88,4%), зокрема про такий фактор ризику розвитку хронічних неінфекційних захворювань як тютюнопаління відомо для 90,1% здобувачам освіти жіночої статі та 87,5% здобувачам освіти чоловічої статі, а споживання алкоголю — 88,9% та 86,4% відповідно.

Однак подальші проведені дослідження показали, що, незважаючи на досить високу обізнаність здобувачів про найвагомішу роль здорового способу життя на їх здоров'я, далеко не всі вони усвідомлюють ризик розвитку хронічних неінфекційних захворювань і мотивовані діяти відповідно до наявних знань. На питання, що заважає здобувачам вести здоровий спосіб життя, були отримані такі відповіді: для 73,2% — це зайнятість і брак часу на фізичну активність, організацію повноцінного харчування, повноцінний сон; 11,4% опитаним заважають шкідливі звички; 9,3% — небажання займатися своїм здоров'ям та для 6,1% — недостатня кількість інформації щодо навиків здорового способу життя. Отже, у студентської молоді, на їхню думку, існує брак часу, низка перепон, звичок, що заважають вести здоровий спосіб життя. Також частина здобувачів вважають, що поки не

мають серйозних проблем із здоров'ям, то й немає потреби у його збереженні та зміцненні.

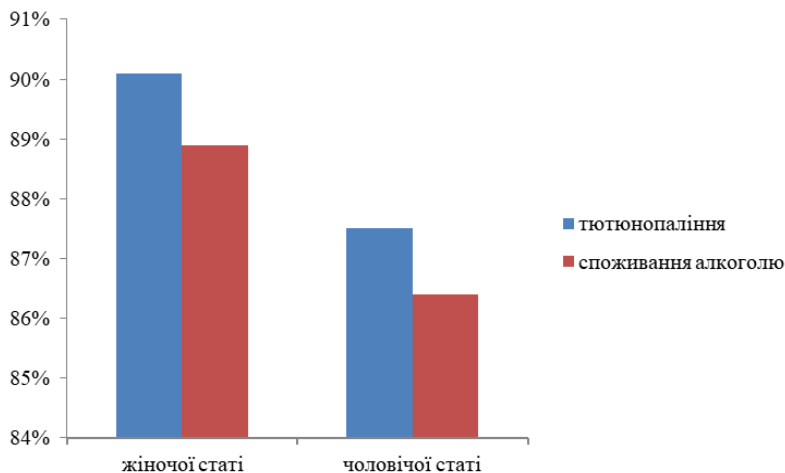


Рис. 3. Показники обізнаності здобувачів щодо негативного впливу шкідливих звичок

Оскільки одним з найвагоміших чинників формування та збереження здоров'я людини є спосіб життя, а особливо раціональне харчування, у своїх дослідженнях значну увагу приділили питанням, що стосуються сучасних тенденцій харчування здобувачів.

Аналіз фактичного харчування здобувачів НУХТ виявив, що в понад 35,9% студентів добова енергетична цінність є недостатньою, а в 18,2% випадків спостерігається її надлишок на фоні нераціонального розподілу раціону протягом дня (рис. 4).



Рис. 4. Дослідження показників енергетичної цінності раціону харчування здобувачів НУХТ

За результатами дослідження встановлено, що 55,7% опитаних снідають, ще 29,8% по-різному (інколи снідають), а в 14,5% студентів сніданок відсутній (рис. 5).

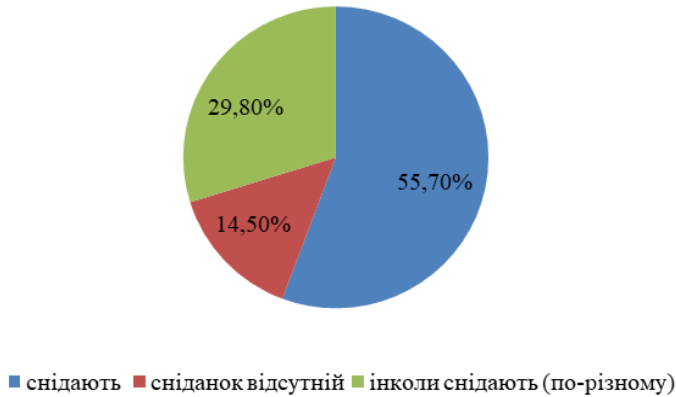


Рис. 5. Аналіз фактичного харчування здобувачів

Обідають і вечеряють 60,3 % і 66,4 % студентів відповідно. Решта опитуваних відповіли, що складається по-різному або вживають їжу двічі на день (рис. 6).

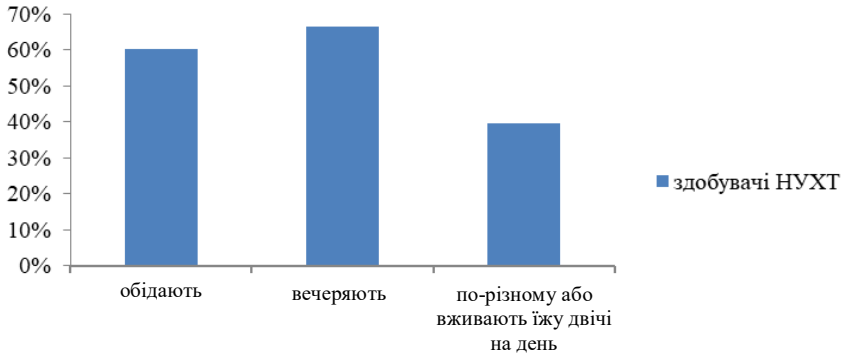


Рис. 6. Дослідження кратності прийомів їжі

Неповноцінний раціон харчування є причиною багатьох фізичних розладів, погіршення загального самопочуття населення. Пам'ятаємо, що харчування є одним із найвагоміших вирішальних чинників, який безпосередньо впливає на здоров'я. Тому в наших опитувальних анкетах, враховуючи Національні рекомендації щодо здорового харчування дорослих, були запропоновані питання, які дали змогу проаналізувати рівень споживання основних цінних груп продуктів нашими здобувачами, щоденне споживання яких оптимально компенсує наші потреби в енергії, білках, жирах, вуглеводах, вітамінах і мінералах та інших біологічно активних речовинах.

Як відомо, за Національними рекомендаціями щодо здорового харчування дорослих, які були розроблені Національною асоціацією дієтологів та затверджені Міністерством охорони здоров'я України наприкінці 2017 р., овочі мають стати основою нашого раціону. Фрукти та ягоди займають також значне місце здорового харчування.

У ході анкетування показано, що щодня свіжі овочеві культури та плодово-ягідні вживають тільки трішки більше, ніж половиною опитаних (60,4% та 52%

відповідно). Ще частина здобувачів зазначають їх епізодичне споживання протягом тижня (29,8% та 36,6% відповідно) (табл. 1). Водночас необхідно зауважити, що овочі, фрукти та ягідні культури є постачальниками вуглеводів, вітамінів і мінеральних речовин, органічних кислот і пектинових речовин. Овочі та фрукти повинні бути обов'язково в щоденному повсякденному раціоні студентської молоді, оскільки вони підвищують апетит і сприяють засвоєнню іншої їжі, мають бактерицидні властивості та здатність виводити токсичні речовини, нормалізують діяльність центральної нервової системи та підвищують працездатність, що так необхідно під час навчання.

Таблиця 1. Аналіз рівня споживання здобувачами основних груп харчових продуктів

Питання, що вивчалось	Щодня	2—3 рази на тиждень	Один раз на тиждень	Рідше одного разу на тиждень
Вживання м'яса	63,1%	26,5%	10,4%	
Вживання риби	5,7%	23,5%	38,6%	32,2%
Вживання свіжих овочів	60,4%	29,8%	9,8%	
Вживання свіжої плодово-ягідної сировини	52%	36,6%	11,4%	

Наявність тваринного білка в раціоні молодих працездатних людей є обов'язковою. Основним джерелом білка є м'ясо, яке містить усі незамінні амінокислоти. Проведене дослідження показало, що м'ясо присутнє щодня в раціоні тільки у 63,1% опитаних здобувачів НУХТ, два-три рази на тиждень у 26,5%, а 10,4% студентів вживають м'ясо один раз і рідше на тиждень (табл. 1).

Іншим, необхідним для життя продуктом є риба, в складі якої містяться білки, ліпіди, зокрема поліненасичені жирні кислоти, вітаміни (серед них вітамін D) мінеральні речовини (калій, кальцій, магній, фосфор, залізо тощо) та інші речовини. Бажаним рівнем споживання риби є дві-три рибні страви на тиждень. У ході анкетування з'ясовано, що у свій раціон на рекомендованому рівні 2—3 рази на тиждень включають рибу 23,5% опитаних. Однак 70,8% здобувачів рідше споживають рибні страви: 38,6% — раз на тиждень, 28,2% — один раз на місяць і 4% вживають рідше. Ще 5,7% здобувачів зазначили, що вживають рибу щодня (табл. 1).

На здоров'я людини негативно впливає рафінована їжа, продукти, що містять надмірну кількість солі, цукру, трансжиру, білого борошна вищих сортів. Установлено, що студентська молодь споживає значну кількість хлібобулочних, макаронних, кондитерських виробів, солодких напоїв. В опитувальних анкетах у раціонах харчування здобувачами часто зазначені бутерброди, макаронні вироби, картопля, кондитерські вироби, чай, кава, солодкі газовані напої. Так, на питання, як часто ви вживаєте «смаколики» (тістечка, цукерки, вафлі, чіпси, сухарики, попкорн, соуси, хот-доги тощо): 23,7% відповіли, що вживають щодня; 2—4 рази на тиждень — 64,9% і рідше одного разу на тиждень або не вживають взагалі — 11,5%. Також поширеним серед опитаних здобувачів є вживання солодких газованих напоїв (рис. 7).

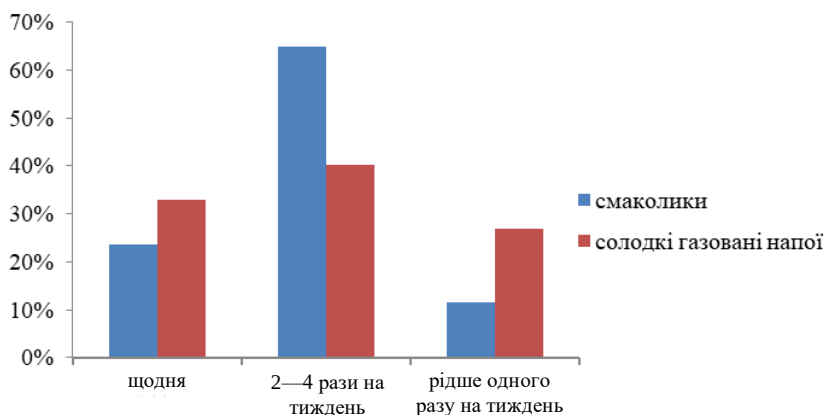


Рис. 7. Дослідження частоти вживання «смаколиків» і газованих напоїв здобувачами НУХТ

При порівнянні даних щодо споживання солі студентами НУХТ встановлено, що відносна кількість здобувачів, які споживають сіль на рівні 5 та 25 г на добу, за статтю суттєво не відрізняється та становить 66,9% та 30,8% серед здобувачів освіти чоловічої статі і 68,6% та 29,5% серед здобувачів освіти жіночої статі (табл. 2).

Таблиця 2. Аналіз рівня споживання здобувачами солі згідно з рекомендаціями

Кількість солі на добу	Здобувачі освіти жіночої статі НУХТ, %	Здобувачі освіти чоловічої статі НУХТ, %
на рівні 5г	68,6	66,9
на рівні 25 г	29,5	30,8
більше 25 г	1,9	2,3

Споживання цукру оцінювалось за кількістю ложок цукру, яку здобувачі додають до гарячих напоїв, — чаю, кави тощо (табл. 3).

Таблиця 3. Аналіз рівня споживання здобувачами цукру

Кількість ложок цукру, що вживають з гарячими напоями (чай, кава тощо)	Здобувачі освіти жіночої статі НУХТ, %	Здобувачі освіти чоловічої статі НУХТ, %
1 ложка	21,6	18,4
2 ложки	24,8	27,6
3 ложки	10,8	8,1
4 ложки	0,5	0,8
Інше (без цукру)	42,3	45,1

Самооцінка власного здоров'я опитаними студентами показала, що 86,8% здобувачів контролюють стан свого здоров'я та вважають його добрим (рис. 8).

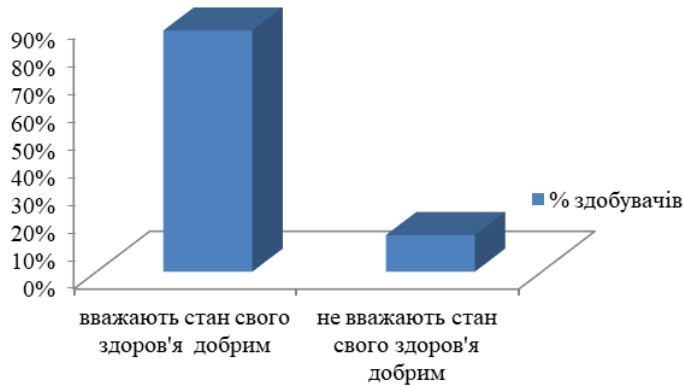


Рис. 8. Самооцінка власного здоров'я опитаними здобувачами

Але при детальному опитуванні з'ясувалося, що майже половина (49,6%) здобувачів періодично відчувають головний біль, слабкість, біль у ділянці живота, спини, хронічну втому, мають зниження зору (рис. 9). Безумовно, ці прояви є результатом впливу різних факторів, однак інтенсивність їх також може залежати й від нерациональності харчування, і низької фізичної активності, і наявності шкідливих звичок та неповноцінного сну. А як результат — проблеми з опорно-руховою системою, ризик розвитку захворювань серцево-судинної та інших життєво важливих систем та органів, порушення розумових процесів, збільшення ризику виникнення нервових та психічних захворювань і навіть недостатня успішність у навчанні.

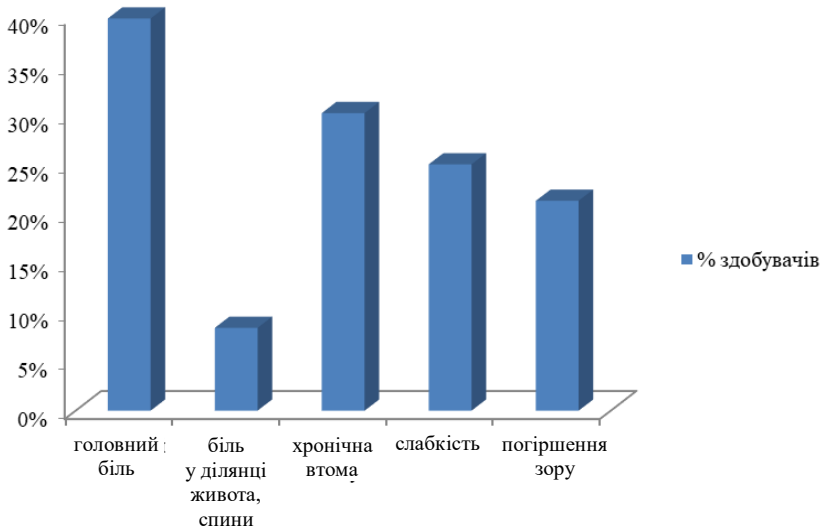


Рис. 9. Негативні прояви у здоров'ї опитаних здобувачів

Висновки

Дослідження сучасних наукових джерел і власні дослідження, присвячені проблемам здорового способу життя та харчуванню молоді, надають можливість

зрозуміти, що рівень знань щодо ризиків виникнення ХНІЗ недостатній, харчування незбалансоване.

Без сумніву, покращення обізнаності й усвідомлення здобувачами небезпеки факторів ризику розвитку ХНІЗ може стати вагомим складовою профілактичних заходів, тому одним із важливих завдань підготовки здобувачів вищої освіти має бути формування в них культури здорового способу життя, засвоєння основних знань щодо факторів ризику розвитку ХНІЗ, мотивації до здорового харчування як основної складової здорового способу життя.

Проте формування мотивації здорового життя в молоді потребує певних зусиль, оскільки не кожен студент може вирішити це завдання самостійно. У зв'язку з цим роботу з формування у здобувачів мотивації культури здорового харчування та здорового способу життя необхідно розпочинати в навчальному процесі з перших курсів, із залученням медіапідтримки, підвищенням доступності здорового харчування та спортивних занять. Враховуючи поширеність стереотипних уявлень щодо перешкод до ведення здорового способу життя необхідно акцентувати увагу на основних мотиваційних факторах: покращення зовнішнього вигляду та успішності людей, здорових дітях і подовження активного довголіття людей, які ведуть здоровий спосіб життя.

Поліпшення обізнаності студентів потрібно вирішувати комплексно з використанням різних джерел. Адже відомо, що сучасна молодь активно сприймає матеріал через сучасні засоби інформації (відео, телефон, інтернет тощо). Наприклад, для кращого сприйняття інформації сучасною молоддю можна використовувати Рекомендації зі здорового харчування МОЗ України у вигляді тарілки здорового харчування. Така візуалізація інформації зрозуміла, доступна та покликана наблизити кожного українця до здорового й збалансованого раціону. Актуальними будуть методичні рекомендації щодо здорового способу життя, підготовка доповідей студентів на конференціях тощо.

Врешті, сучасна молодь повинна зрозуміти, що дбати про своє здоров'я сьогодні — це запорука успішного активного довголіття! Адже спосіб життя, який обирає людина, є одним з основних детермінант здоров'я, ступінь впливу якого значно перевищує дію багатьох інших чинників.

Література

Банковська, Н. В. (2008). *Гігієнічна оцінка стану фактичного харчування дорослого населення України та наукове обґрунтування шляхів його оптимізації*: автореф. (Дис. канд. мед. наук). Нац. мед. ун-т ім. О. О. Богомольця, Київ.

Гармаш, О. І. (2018). Формування здоров'я та здорового способу життя у студентів вищих навчальних закладів. Взято з <http://intkonf.org/garmash-oi-formuvannya-zdorovya-ta-zdorovogo-sposobu-zhittya-u-studentivvischih-navchalnih-zakladiv>.

Григоренко, О. М. (2011). Еволюція теорії та концепції харчування людини. *Вісник Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського*, 1(49), 205—217.

Гуліч, М. П. (2011). Рациональное питание и здоровый образ жизни — основные факторы сохранения здоровья населения. *Проблемы старения и долголетия*, 20(2), 128—132.

Даниленко, Г. М., Летаго, Г. В., Водолажський, М. Л., Авдієвська, О. Г., Савельєва, Л. М. (2018). Особливості харчування студентської молоді як важливого компонента здоров'язбеігаючої поведінки. *Молодий вчений*, 8(2), 293—297.

Дудорова, Л. Ю. (2009). *Педагогічні умови формування потреби в здоровому способі життя майбутніх учителів у процесі фізичного виховання*: автореф. (Дис. канд. пед. наук). Вінниц. держ. пед. ун-т ім. М. Коцюбинського, Вінниця.

Житомирський, Л. (2021). Поліпшення здоров'я студентів у закладах вищої освіти в сучасних умовах. *Науковий вісник Ізмаїльського державного гуманітарного університету*, (56), 113—119.

Козік, Н. М., Стратійчук, Н. А., Пилип, Г. М., Логущ, Л. Г. (2017). Дослідження особливостей харчування студентів вищої школи як складової способу життя. *Молодий вчений*, 3.1 (43.1), 172—176.

Кошманюк. М. В. (2014). Особливості формування здорового способу життя студентів в умовах навчального закладу. *Вісник Ужгородського університету. Серія Педагогіка*, 30, 69—73.

Кривич, І. П., Чумак, Ю. Ю., Гусєва, Г. М. (2021). Сучасний стан здоров'я населення України. *Довкілля та здоров'я*, 3(100), 4—12.

Криничко, Л. Р. (2020). Оцінка сучасного стану здоров'я населення України. *Економіка, управління та адміністрування*, 4(94), 142—149.

Круцевич Т. Ю., Пангелова Т. В. (2016). Сучасні тенденції щодо організації фізичного виховання у вищих навчальних закладах. *Спортивний вісник Придніпров'я*, 3, 109—114.

Лапач С. Н., Чубенко А. В., Бабич П. Н. (2001). *Статистичні методи у медико-біологічних дослідженнях з використанням Excel*. Київ: Моріон.

Пересічний, М. І., Карпенко, П. О., Пересічна, С. М. (2011). Концепція організації харчування студентів. *Проблеми старения и долголетия*, 20(2). 177—188.

Селезньова, О. О. (2014). Здоров'я молоді та формування здорового способу життя. *Народна*, 3 (24). Взято з https://www.narodnaosvita.kiev.ua/?page_id=2513.

Сердюк, А. М., Гуліч, М. П., Петренко, О. Д., Любарська, Л. С., Коблянська, А. В. (2019). Обізнаність та усвідомлення студентською молоддю загрози для здоров'я факторів ризику розвитку неінфекційних захворювань — сучасний стан проблеми. *Медичні перспективи*, 24(1), 4—14.

Цимбаліста, Н. В., Давиденко, Н. В. (2008). Стан фактичного харчування населення та аліментарно обумовлена захворюваність. *Проблеми харчування*, 1—2, 32—35.

Чернецька С. І. (2014). Основи раціонального харчування студентів. *Медсестринство*, 2, 55—58.

Akseer, N., Mehta, S., Wigle, J. et al. (2020). Non-communicable diseases among adolescents: current status, determinants, interventions and policies. *BMC Public Health*, 20:1908. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09988-5>.

Bennett J. E., Stevens G. A., Mathers C. D., Bonita R., Rehm J., Kruk M. E., et al. (2018). NCD countdown 2030: worldwide trends in non-communicable disease mortality and progress towards sustainable development goal target 3.4. *Lancet*. 392(10152), 1072—1088. doi: 10.1016/S0140-6736(18)31992-5.

Evrin Çelebi, Cemal Gündoğdu, Aysel Kızılkaya. (2017). Determination of Healthy Lifestyle Behaviors of High School Students. *Universal J. Educational*, 5(8). 1279—1287.

Margaret Schneider, Lynn DeBar, Ashley Calingo, Will Hall, Katie Hindes, Adriana Sleight, Debbie Thompson, Stella L. Volpe, Abby Zeveloff, Trang Pham & Allan Steckler (2013). The Effect of a Communications Campaign on Middle School Students' Nutrition and Physical Activity: Results of the HEALTHY Study. *Journal of Health Communication*, 18:6, 649—667. DOI: 10.1080/10810730.2012.743627.

Tamanal, Jerre Mae & Kim, Cheong. (2020). Promoting Healthy Lifestyle in High School Students: Determination of the Lifestyle Status through the Healthy Lifestyle Screen (HLS). *Assessment. Journal of Lifestyle Medicine*, 10, 30—43.

Yakymenko, I., Tsybulin, O., Shapovalov, Ye. (2019). Healthy lifestyle behaviors among university students in Ukraine. *Довкілля та здоров'я*, 1, 41—45.

RESEARCH OF QUALITY INDICATORS OF YOGURTS WITH MALTODEXTRIN AND DRY GLUCOSE SYRUP

O. Ivashchenko, G. Polishcuk

National University of Food Technologies

Key words:

Yogurt
Glucose syrup
Maltodextrin
Dextrose equivalent
Structuring capability
Syneresis

Article history:

Received 11.07.2023
Received in revised form
28.07.2023
Accepted 10.08.2023

Corresponding author:

O. Ivashchenko

E-mail:

olivasha25@gmail.com

Citation: O. М. Іващенко, Г. Є. Поліщук (2023). Дослідження показників якості йогуртів з мальтодекстрином і сухим глюкозним сиропом. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 162—175.
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-15

ABSTRACT

Products of enzymatic hydrolysis of starch are multifunctional ingredients in various food technologies. At the same time, their use in dairy products is quite limited and is mainly applied to the production of ice cream, dairy desserts, and non-fermented dairy beverages. Among the wide range of starch derivatives, the most promising ones for their application in fermented dairy beverages are dry glucose syrups and maltodextrins. They enable avoiding the addition of extra water and are easy to store and use. Glucose syrups and maltodextrins were proposed to be used in the composition of non-fat yogurt and bio-yogurt as stabilizers, milk fat mimetics, sweeteners, and moisture-binding agents.

It was established that an abundance of higher sugars in maltodextrins prolongs the fermentation process, while an increase in the content of monosaccharides in syrups accelerates the duration of fermentation of dairy blends in the technological process of producing yogurt and non-fat bio-yogurt with fat content of 0.05% and 1.0%. Based on the obtained regression equations, the course of lactic acid fermentation in the technological process of obtaining yogurt and bio-yogurt exhibited significant variation over a wide range of dextrose equivalent values of the applied starch derivatives. The structuring and moisture-binding capabilities of dry products from starch hydrolysis in yogurt and bio-yogurt increased in the following sequence: dry glucose syrup → maltodextrin type MD-18 → maltodextrin type MD-10. The most balanced impact on the sensory characteristics of yogurt and bio-yogurt was observed when using dry glucose syrup with a dextrose equivalent of 40...42, which served as a sweetener and structure stabilizer.

Low-saccharified maltodextrins were more effective as structuring agents, milk fat mimetics, and a source of dry matter for producing non-fat drinking yogurt and bio-yogurt.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЙОГУРТІВ З МАЛЬТОДЕКСТРИНОМ І СУХИМ ГЛЮКОЗНИМ СИРОПОМ

О. М. Іващенко, Г. Є. Поліщук

Національний університет харчових технологій

Продукти ферментативного гідролізу крохмалю є поліфункціональними інгредієнтами у різних харчових технологіях. Водночас їх застосування у складі молочних продуктів доволі обмежене і стосується передусім виробництва морозива, молочних десертів та неферментованих молочних напоїв. Серед широкого асортименту крохмалепродуктів найбільш перспективними для їх використання у складі ферментованих молочних напоїв є сухі глюкозні сиропи і мальтодекстрини, які унеможливають додаткове внесення води та легкі у зберіганні й застосуванні. Саме їх запропоновано застосовувати у складі йогурту та біойогурту нежирних питних як стабілізатори, міметики молочного жиру, підсолоджувачі, вологозв'язувальні агенти.

Встановлено, що переважання вищих цукрів у складі мальтодекстринів продовжує, а підвищення вмісту моноцукрів у сиропі і патоці прискорює тривалість сквашування молочних сумішей у технологічному процесі виробництва йогурту та біойогурту жирністю 0,05 і 1,0%. Відповідно до одержаних рівнянь регресії виявлено характер перебігу молочнокислого бродіння в технологічному процесі одержання йогурту і біойогурту в доволі широкому діапазоні значень декстрозного еквівалента застосованих крохмалепродуктів. Структуруюча і вологозв'язувальна здатність сухих продуктів гідролізу крохмалю у складі йогурту та біойогурту підвищуються у такій послідовності: сухий глюкозний сироп → мальтодекстрин марки MD-18 → мальтодекстрин марки MD-10. Найбільш збалансований вплив на органолептичні показники йогурту і біойогурту виявляє суха глюкозна патока з декстрозним еквівалентом 40...42, яка виконує функції підсолоджувача і стабілізатора структури. Низькоосахаровані мальтодекстрини більш ефективні як структуруючі агенти, міметики молочного жиру і джерело сухих речовин для одержання йогурту і біойогурту питного нежирного.

Ключові слова: йогурт, глюкозний сироп, мальтодекстрин, декстрозний еквівалент, структуруюча здатність, синерезис.

Постановка проблеми. Світове виробництво крохмалю і продуктів його переробки як унікальних поліфункціональних інгредієнтів щорічно збільшується (Ünlü, & Soysal, 2017). Натуральні продукти ферментативного і кислотного гідролізу крохмалю є підсолоджувачами, кріопротекторами, структуруючими агентами, впливають на осмотичний тиск, протидіють кристалізації цукрів, підсилюють смак та аромат, імітують вміст жиру, що й обумовлює їх широке використання у виробництві хлібобулочних і кондитерських виробів, плодово-ягідних та овочевих консервів, соусів і напоїв. (Eke-Ejiofor, 2015; Jia, Zhou, & Zheng, 2017).

В Україні шляхом ферментативного гідролізу кукурудзяного крохмалю виготовляють фруктозу, крохмальну патоку, глюкозні та глюкозно-фруктозні сиропи, мальтодекстрини, обсяги виробництва яких повністю забезпечують внутрішній ринок доволі дешевими багатфункціональними інгредієнтами. Але застосування продуктів гідролізу крохмалю у складі молочних продуктів поки що доволі обмежене і стосується передусім виробництва морозива, молочних десертів і неферментованих молочних напоїв (Polischuk, Sharahmatova, Breus, Bass, & Shevchenko, 2019; Zargaraan, Kamaliroosta, Yaghoubi, & Mirmoghtadaie, 2016).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукові публікації, присвячені застосуванню продуктів гідролізу крохмальної патоки у складі йогурту, дуже обмежені. Дослідників більше цікавить використання у складі йогуртів глюкозно-галактозного сиропу, одержуваного з лактози, для заміни 25...50% цукру (Mosquera-Martínez, Sepúlveda-Valencia, Ciro-Velásquez, Vargas-Díaz, & Pérez-Escobar, 2023).

Натомість доведено пребіотичні властивості мальтодекстрину, одержуваного з кукурудзяного крохмалю, у складі біойогурту з біфідобактеріями, що підтверджується підвищенням життєдіяльності пробіотичних штамів *Lactobacillus acidophilus* і *Bifidobacterium lactis* за одночасного поліпшення сенсорних органолептичних властивостей готового продукту впродовж усього періоду зберігання (Batawy, & Khalil, 2018). У той же час інші технологічні функції мальтодекстрину не вивчено. Структуруючі та пребіотичні властивості також властиві композиційним сумішам крохмальної патоки та крохмалю за їх спільного застосування у складі харчових продуктів (Gökşen, & Ekiz, 2018).

Також відомо про структуруючу здатність мальтодекстрину з вівса у кількості 1, 2 і 3% у складі йогурту жирністю від 1 до 3% (Domagała, Sady, Grega, & Bonczar, 2006) за умови часткової або повної заміни молочного жиру на мальтодекстрин. Заміна молочного жиру в йогурті на вказаний мальтодекстрин не показала істотних відмінностей у сенсорному аналізі та реологічних характеристиках готового продукту.

Слід відзначити, що в складі йогурту і йогуртових напоїв, зазвичай, використовують хімічно модифіковані крохмалі у кількості до 1,5% (He, Han, Liu, Wang, Yang, & Yang, 2019). Китайськими науковцями доведено, що поперечне зшивання крохмалю призводить до підвищення його стійкості до кислоти та механічного впливу, порівняно з нативним крохмалем, однак подібна хімічна модифікація макромолекул може знижувати здатність до набухання та розчинність цього полісахариду. Тому для досягнення певного балансу між ефектом наповнювача і сумісності з молочними білками макромолекули крохмалю рекомендовано ацетилювати з одержанням хімічно модифікованих структуруючих харчових добавок (Pang, Xu, Luo, Che, Bansal, & Liu, 2019). Водночас вітчизняні вчені довели технологічну доцільність застосування натурального структуруючого і підсолоджуючого інгредієнта — рідкої низькоосахарованої патоки у складі йогурту з масовою часткою жиру 1,5% як підсолоджувача і стабілізатора структури (Марченко, & Поліщук, 2017). Але не досліджено функціонально-технологічні властивості сухих продуктів гідролізу крохмалю, зокрема з декстрозним еквівалентом нижче 30, у складі йогурту та біойогурту нежирного.

З технологічної точки зору сухі натуральні підсолоджувачі більш перспективні для використання у складі ферментованих молочних напоїв, порівняно з рідкими крохмальними сиропами, оскільки вони містять усього 3...5% води, на відміну від рідких сиропів (20...22% води) (Harni, Putri, & Handayani, 2021). У разі застосування у складі йогурту до 9...10% сухих речовин патоки рідкої або сиропу, що замінюють 4% сухого знежиреного молока (СЗМ) і 5...6% цукру, в продукт додатково вноситься близько 2,2...2,5% води. Окрім того, під час зберігання патока густішає, втрачає текучість, може змінювати колір, тому перед використанням її нагрівають до 40...50 °C для зменшення в'язкості, що потребує додаткового технічного оснащення, а також відповідних витрат часу та енергії. Подібні обмеження й рекомендації для сухої патоки відсутні. Саме тому для унеможливлення внесення до складу йогурту води разом з рідкими патоками і сиропами, а також для спрощення транспортування, зберігання, дозування та подальшого застосування натуральних підсолоджувачів, доцільним є використання сухих продуктів переробки крохмалю вітчизняного виробництва — сухого глюкозного сиропу і сухого мальтодекстрину.

Мета дослідження: вивчити вплив сухого глюкозного сиропу і мальтодекстрину на органолептичні та фізико-хімічні показники якості йогурту нежирного.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- вивчити вплив сухих продуктів гідролізу крохмалю на тривалість процесу сквашування в технології йогурту нежирного;
- дослідити закономірності структурування і вологозв'язування згустків йогурту в присутності сухих крохмалепродуктів;
- визначити органолептичні показники зразків йогурту із сухими продуктами гідролізу крохмалю різного ступеня осахарованості.

Матеріали і методи. Для проведення дослідження було обрано сухий глюкозний сироп з декстрозним еквівалентом (ДЕ) 40 і сухий мальтодекстрин двох марок — MD-10 (ДЕ=10) та MD-18 (ДЕ=18...20) вітчизняного виробництва (ПрАТ «Інтеркорн Корн Просессінг Індустрі»).

Контрольні і дослідні зразки йогурту готували із застосуванням заквасок для йогурту (закваска «Іпровіт», Інститут продовольчих ресурсів НААНУ, містить *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaricus*,) і для біойогурту з біфідобактеріями (закваска VIVO, містить *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis*).

Титровану кислотність зразків йогурту визначали загальновідомим титриметричним способом шляхом нейтралізації кислот, які знаходяться в продукті, розчином гідроксиду натрію та ідентифікації точки еквівалентності (Tomovska, Gjorgievski, & Makarijoski, 2016).

Умовну в'язкість зразків йогурту вимірювали за допомогою віскозиметра ВЗ-246. Перед вимірюванням проби йогурту ретельно перемішували, запобігаючи утворенню бульбашок, і доводили їх температуру до (20±2) °C.

Вологоутримувальну здатність зразків йогурту визначали фільтруванням 100 см³ зруйнованих кисломолочних згустків через паперовий фільтр при 20±1 °C та вимірюванням об'єму відділеної сироватки у см³ впродовж 60 хв.

Органолептичні властивості зразків йогурту оцінювали шляхом сенсорного профілювання за п'ятибальною описовою шкалою відповідно до стандартного

методу ISO (EN ISO 13299:2016) за такими індивідуальними сенсорними атрибутами: зовнішнім виглядом і консистенцією, кольором, смаком, запахом, які оцінювали за 5-бальною описовою шкалою. За 1 бал приймали відсутність даного атрибута, а за 5 — атрибут максимальної інтенсивності. Оцінки за 5-бальною шкалою відмічали на осях діаграм та отримували сенсорні профілі зразків. Розподіл коефіцієнтів вагомості за 25-бальною шкалою такий: консистенція — 0,3; смак — 0,3; аромат — 0,2; зовнішній вигляд — 0,1; колір — 0,1. Одержані за 5-бальною шкалою результати перераховували відповідно до коефіцієнтів вагомості. Якість зразків йогурту диференціювали за оцінкою рівня якості та загальним зваженим балом відповідно до таких діапазонів їх значень: 21—25 балів — відмінний; 16—19,9 бала — добрий; 11—15,9 бала — задовільний; 6—10,9 бала — поганий; менше 6 балів — дуже поганий (неприйнятний).

Склад контрольних і досліджуваних зразків наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Склад контрольних і досліджуваних зразків йогурту

Зразки	Інгредієнти, %				
	Сухе знежирене молоко (СЗМ)	Цукор	Мальтодекстрин марки MD-10	Мальтодекстрин марки MD-18	Сухий глюкозний сироп (СГС)
Контрольні зразки з масовою часткою жиру 0,05%					
Йогурт	4,0	5,0	—	—	—
Біойогурт	4,0	5,0	—	—	—
Контрольні зразки з масовою часткою жиру 1,0%					
Йогурт	4,0	5,0	—	—	—
Біойогурт	4,0	5,0	—	—	—
Досліджувані зразки з масовою часткою жиру 0,05%					
Йогурт	—	—	9,0	—	—
Йогурт	—	—	—	9,0	—
Йогурт	—	—	—	—	9,0
Біойогурт	—	—	9,0	—	—
Біойогурт	—	—	—	9,0	—
Біойогурт	—	—	—	—	9,0
Досліджувані зразки з масовою часткою жиру 1,0%					
Йогурт	—	—	9,0	—	—
Йогурт	—	—	—	9,0	—
Йогурт	—	—	—	—	9,0
Біойогурт	—	—	9,0	—	—
Біойогурт	—	—	—	9,0	—
Біойогурт	—	—	—	—	9,0

За час сквашування приймали тривалість досягнення заквашеними молочними сумішами титрованої кислотності не нижче 80 °Т відповідно до вимог ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови щодо мінімальних значень титрованої кислотності для йогуртів. Після сквашування йогурт охолоджували до температури не вище 6 °С, витримували впродовж 1, 7 та 14 діб і визначали показники якості продукту.

Статистична обробка результатів. Всі результати за 3—5-кратної повторності і заданої довірчої ймовірності $P \geq 0,95$ були статистично оброблені за допомогою програми Statistika 10. Побудову діаграм здійснено у Microsoft Excel 2016.

Викладення основних результатів дослідження. Вуглеводний склад крохмалепродуктів може впливати на перебіг процесу ферментації молочних сумішей (Batawy, & Khalil, 2018), тому з метою вивчення впливу видового складу закваски і виду крохмалепродукту та масової частки жиру молочних сумішей на час їх сквашування результати наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Час сквашування зразків йогурту та біойогурту з мальтодекстрином і сухим глюкозним сиропом (години) ($n=5$; $P \geq 0,95$)

Види зразків	Йогурт		Біойогурт	
	м.ч.ж. 0,05%	м.ч.ж. 1,0%	м.ч.ж. 0,05%	м.ч.ж. 1,0%
Контрольні зразки	4,10±0,20	4,2±0,19	3,87±0,14	4,05±0,16
Зразки з MD-10 (DE=10)	4,90±0,21	5,10±0,20	4,71±0,19	4,85±0,17
Зразки з MD-18 (DE=18...20)	4,80±0,16	5,0±0,22	4,60±0,23	4,71±0,21
Зразки з СГС (DE=40)	4,54±0,16	4,77±0,12	4,33±0,20	4,44±0,19

Відповідно до табл. 2, загальні закономірності зміни тривалості процесу сквашування зразків різними за складом заквасками для йогурту в цілому подібні прояву активності молочнокислої мікрофлори у попередніх дослідженнях, де вивчалися суміші з рідкими крохмальними патоками/сиропами: глюкозно-фруктозним сиропом (ГФС), глюкозним сиропом (ІГ-42), патокою низькоосахарованою (ПН), декстрозний еквівалент яких становив 97...98, 40...42 і 30 відповідно (Іващенко, & Поліщук, 2022). Найбільшу активність виявила закваска з термофільною ацидофільною паличкою, що підтверджується найкоротшим часом досягнення мінімального значення титрованої кислотності не нижче 80 °Т. Також слід відмітити незначне скорочення часу сквашування для сумішей жирністю 0,05%, порівняно із сумішами 1% жирності. Прослідковується чітка тенденція залежності тривалості сквашування від декстрозного еквівалента крохмалепродуктів у складі йогурту в кількості 9%. Ілюстративно таку залежність наведено на рис. 1. Результати визначення тривалості сквашування молочних сумішей з підсолоджувачами вітчизняного виробництва з ДЕ від 30 до 98, а саме з ГФС, ІГ-42 і ПН, використано з попередньо опублікованих даних (Марченко, & Поліщук, 2017).

Визначену закономірність можна пояснити наявністю у складі низькоосахарованих продуктів деструкції крохмалю достатньої кількості декстринів, які ефективно зв'язують воду, що пригнічує життєдіяльність молочнокислих бактерій. Натомість моноцукри у високоосахарованих патоках і сиропах (глюкозно-фруктозний сироп, глюкозний сироп) активують молочнокислі бактерії і таким чином скорочують час сквашування молочних сумішей. Тому для одержання певного балансу між бажаною тривалістю сквашування і ступенем солодкості

йогурту варто застосовувати підсолоджувачі з різним декстрозним еквівалентом як одним з вагомих чинників впливу на перебіг мікробіологічних процесів.

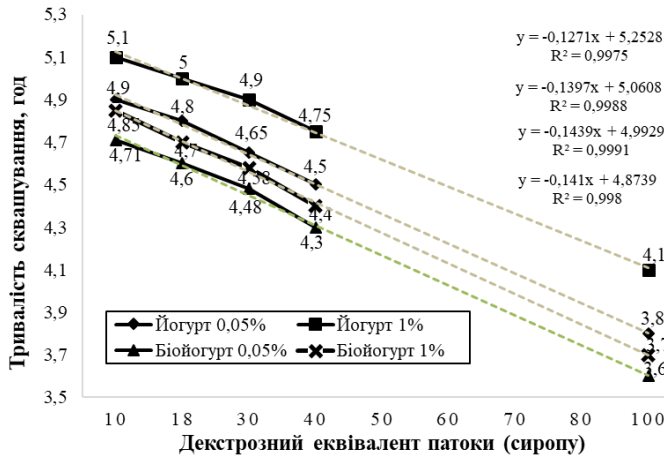


Рис. 1. Залежність тривалості сквашування молочних сумішей різної жирності заквасками для йогурту і біойогурту від декстрозного еквіваленту крохмальних патоک (сиропів) і мальтодекстринів у їх складі

Відомо, що крохмалепродукти спроможні суттєво впливати на фізико-хімічні показники йогурту (Lobato-Calleros, Ramírez-Santiago, Vernon-Carter, & Alvarez-Ramirez, 2014). Тому на наступному етапі визначали умовну в'язкість зразків йогурту та біойогурту з сухим глюкозним сиропом і мальтодекстринами різних марок (рис. 2) після сквашування і подальшого зберігання зразків при температурі $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$ у холодильній камері впродовж 1, 7 і 14 діб.

Умовну в'язкість згустків свіжовиготовлених зразків йогурту та зразків після заданого терміну зберігання наведено на рис. 2 а, б.

Відповідно до рис. 2, сухі мальтодекстрини марок MD-10 та MD-18, порівняно з сухим знежиреним молоком, структурують йогурт ефективніше за рахунок високого вмісту декстринів. Мальтодекстрини у 3,5 раза дешевші за сухе знежирене молоко, тому їх застосування у складі йогурту в кількості 9%, порівняно із сухим знежиреним молоком у кількості 4%, економічно вигідніше. Також слід зазначити, що мальтодекстрини не лише структурують йогурти, але й підсолоджують їх і є відносно дешевим джерелом сухих речовин. Отже, мальтодекстрини можуть частково знижувати потребу в цукрі в йогуртах. Сухий глюкозний сироп СГС виявляє дещо меншу структуруючу здатність, що пояснюється розріджувальною дією моноцукрів (Nikolić, Petrović, Pajin, Lončarević, Šubarić, Ačkar, Miličević, Šereš, Dokić, Šoronja-Simović, & Jozinović, 2023).

Упродовж зберігання зразків йогурту з крохмалепродуктами відзначене суттєве підвищення умовної в'язкості, особливо після 1-ї та 7-ї діб зберігання. Найбільш виражений цей ефект у зразках із сухим мальтодекстрином. Присутність молочного жиру у кількості 1% також відіграє певну роль у структуруванні зразків йогурту.

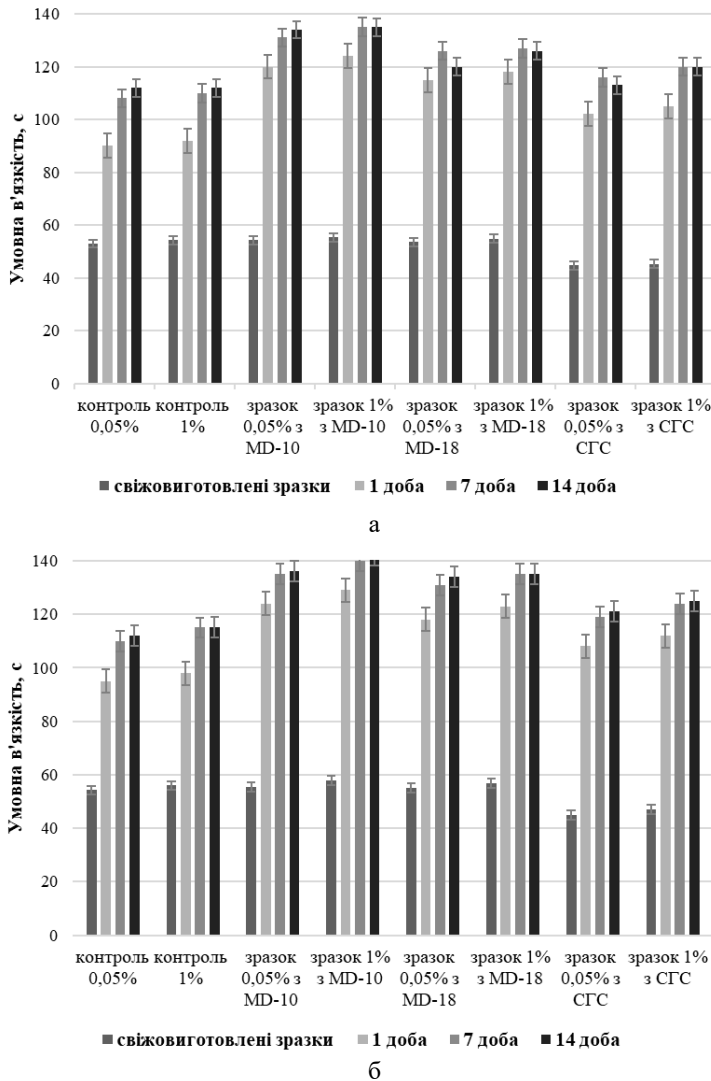


Рис. 2. Умовна в'язкість зразків йогурту (а) та біойогурту (б) з крохмалепродуктами під час зберігання

За результатами порівняльного аналізу значень умовної в'язкості йогурту та біойогурту очевидно є загальна тенденція позитивного впливу крохмалепродуктів на в'язкісні характеристики продукту свіжовиготовленого та впродовж зберігання, особливо в разі застосування закваски з ацидофільною паличкою.

Авторами попередньо доведено, що рідкі крохмальні патоки і сиропи можуть впливати на синеретичні властивості кисломолочних згустків (Івашенко, & Поліщук, 2022). Тому на наступному етапі досліджували ступінь синерезису йогурту з сухими крохмалепродуктами у кількості 9%, які за рахунок більшого вмісту вищих цукрів спроможні ефективніше зв'язувати вологу та чинити опір синерезису

молочно-білкових згустків йогурту під час зберігання. Ступінь синерезису свіжовиготовленого йогурту та біойогурту з сухими крохмалепродуктами через 60 хв вимірювання наведено на рис. 3.

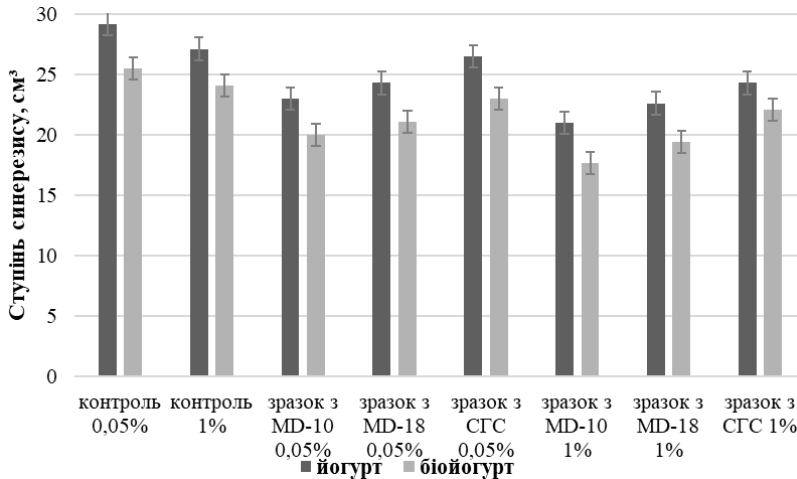


Рис. 3. Ступінь синерезису зразків йогурту і біойогурту з крохмалепродуктами

За результатами аналізу рис. 3 можна відмітити найсуттєвіше підвищення ступеня синерезису кисломолочних згустків біойогурту з масовою часткою жиру 1%, що містить мальтодекстрин MD-10. Дещо меншу ефективність виявлено для мальтодекстрину MD-18, а найменшу — для CGC. Водночас усі зразки йогурту і біойогурту з крохмалепродуктами характеризувалися меншим синерезисом, порівняно з контрольними зразками, що підтверджує доволі високу стабілізуючу здатність мальтодекстрину і сухої глюкозної патоки. Біойогурт відрізнявся кращим утриманням вологи за присутності в його складі в'язких екзополісахаридів як продуцентів життєдіяльності ацидофільної палички (Angelin, & Kavitha, 2020).

Зовнішній вигляд дослідних зразків на прикладі біойогурту з масовою часткою жиру 1% і вмістом 9% сухих крохмалепродуктів, порівняно з контрольним зразком (4% сухого знежиреного молока +5% цукру), наведено на рис. 4.

Відповідно до рис. 4, очевидним є найсуттєвіше структурування біойогурту з мальтодекстрином MD-10, дещо менше — з мальтодекстрином MD-18, і найменше — з CGC, що можна пояснити доволі високим вмістом у цих сухих крохмалепродуктах вищих структуруючих цукрів (Grenby, & Mistry, 2000; Hofman, Van Vuul, & Brouns, 2016). Порівняльний аналіз зовнішнього вигляду контрольного і дослідних зразків йогурту ще раз підтверджує більшу доцільність застосування продуктів деструкції кукурудзяного крохмалю, ніж сухе знежирене молоко.

Отже, всі сухі крохмалепродукти виявляють високу структуруючу та вологоутримувальну здатність. Виявлений ефект потребує проведення більш глибоких досліджень реологічних характеристик, зокрема тиксотропної здатності кисломолочних згустків із крохмалепродуктами за допомогою спеціального обладнання.

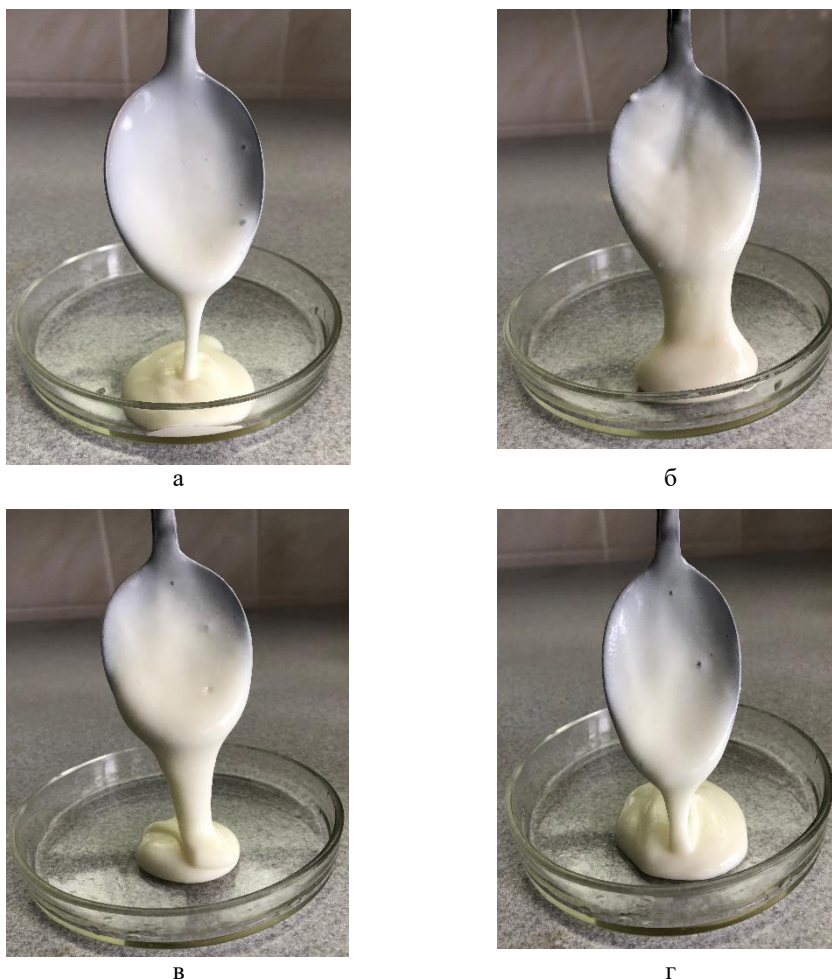


Рис. 4. Зовнішній вигляд дослідних зразків на прикладі біойогурту: а — контрольний зразок; б — зразок з MD-10; в — зразок з MD-18; г — зразок з СГС

На останньому етапі дослідної роботи визначали органолептичні показники йогурту та біойогурту із сухими крохмалепродуктами. Оскільки мальтодекстрини і глюкозний сироп характеризуються різним вуглеводним складом, доволі логічним є припущення, що за підвищення ДЕ крохмалепродукти все більше впливатимуть на ступінь солодкості за одночасної втрати структуруючої здатності йогурту і навпаки. На прикладі біойогурту з масовою часткою жиру 1% на рис. 5 наведені результати дослідження, які підтверджують вказане припущення.

Відповідно до рис. 5, зразки з MD-10 і MD-18 характеризуються густою кремоподібною консистенцією та привабливим зовнішнім виглядом, але вони недостатньо солодкі і мають невиражений аромат. Натомість зразок контрольний за стандартного ступеня солодкості і гарного аромату недостатньо структурований.

Зразок з СГС займає проміжне значення. Зважаючи на це, у подальших дослідженнях варто використовувати переваги кожного із підсолоджувачів, залежно від поставленого завдання і виду продукту (з наповнювачами, без наповнювачів).



Рис. 5. Профілограма органолептичних показників зразків біоїогурту (м.ч.ж. 1,0%) із сухими крохмалепродуктами

У табл. 3 наведено загальний зважений бал і рівень якості органолептичної оцінки зразків йогурту йогурту і біоїогурту різної жирності.

Таблиця 3. Загальний бал і рівень якості зразків йогурту та біоїогурту за результатами органолептичної оцінки

Види зразків	йогурт		біоїогурт	
	м.ч.ж. 0,05%	м.ч.ж. 1,0%	м.ч.ж. 0,05%	м.ч.ж. 1,0%
Загальний бал				
Контрольні	19,0	19,5	20,8	21,7
Зразки з MD-10	19,0	19,4	19,5	20,2
Зразки з MD-18	19,5	20,0	20,4	20,5
Зразки з СГС	24,0	24,3	24,6	24,8
Рівень якості				
Контрольні	добрий	добрий	відмінний	відмінний
Зразки з MD-10	добрий	добрий	добрий	відмінний
Зразки з MD-18	добрий	відмінний	відмінний	відмінний
Зразки з СГС	відмінний	відмінний	відмінний	відмінний

Відповідно до табл. 3, зразки йогурту з СГС доволі зрівноважені за консистенцією і ступенем солодкості й ароматом. Натомість ступінь солодкості й аромат зразків з MD-10 та MD-18 дещо невиражені за високого структурування, хоча слід відзначити доволі ефективне маскування мальтодекстринами браку молочного жиру в йогурті нежирному. Підвищення вмісту жиру та застосування пробіотичної закваски позитивно впливають на загальне органолептичне сприйняття в усіх групах йогурту. Саме для йогурту нежирного з м.ж.ч. 0,05% найбільш складно сформувати належні органолептичні показники, що потребує особливої

уваги дослідників (Chen, Zhao, Hao, Yu, Tian, & Zhao, 2017). Усі зразки йогурту суттєво не відрізнялися ($P \geq 0,95$) за рівнем якості після 7 і 14 діб зберігання, порівняно з йогуртом після однієї доби зберігання.

Отже, сухий глюкозний сироп за збалансованого впливу на смак (ступінь солодкості, аромат) та консистенцію є найбільш прийнятним у складі йогурту і біо-йогурту нежирного. Сухий глюкозний сироп спроможний повністю замінювати цукор і сухе знежирене молоко як джерело сухих речовин, підсолоджувач і стабілізатор у складі йогурту жирністю 0,05 і 1,0%. Мальтодекстрини як джерело сухих речовин виявляють функції стабілізаторів та міметиків жиру, тому є технологічно активними і можуть бути застосовані у складі йогурту з низьким ступенем солодкості або разом з інтенсивнішими підсолоджувачами, наприклад, сухою фруктозою, що потребує подальших досліджень.

Висновки

Переважаання вищих цукрів у складі мальтодекстринів подовжує, а підвищення вмісту моноцукрів у сиропі і патоках прискорює тривалість сквашування молочних сумішей у технологічному процесі виробництва йогурту та біо-йогурту жирністю 0,05 і 1,0%, що підтверджується одержаними рівняннями регресії за зміни значень декстрозного еквіваленту крохмалепродуктів від 10 до 98.

Структурування і вологозв'язувальна здатність молочно-білкових згустків йогурту та біо-йогурту жирністю 0,05% ті 1,0% із сухими продуктами гідролізу крохмалю підвищуються в такій послідовності: сухий глюкозний сироп → мальтодекстрин марки MD-18 → мальтодекстрин марки MD-10.

Найбільш збалансований вплив на органолептичні показники йогурту і біо-йогурту нежирного виявляє суха глюкозна патока з декстрозним еквівалентом 40...42, яка виконує функції підсолоджувача і стабілізатора структури. Застосування мальтодекстринів марок MD-10 та MD-18 як ефективних структуруючих інгредієнтів і міметиків молочного жиру для одержання йогурту питного десертного призначення потребує сполучення з інтенсивними підсолоджувачами.

Перспективами подальших наукових досліджень є вивчення реологічних характеристик, зокрема тиксотропної здатності, кисломолочних згустків з крохмалепродуктами та наукове обґрунтування сполучення структуруючих мальтодекстринів з іншими підсолоджувачами у складі йогурту та біо-йогурту нежирного десертного призначення для досягнення максимального технологічного ефекту.

Література

Іващенко О. М., Поліщук, Г. Є. (2022). Вивчення функціонально-технологічних властивостей крохмальної патоки у складі йогурту. *Харчова промисловість*, 31-32, 43—53. <https://doi.org/10.24263/2225-2916-2022-31-32-7>.

Марченко, Т. С., Поліщук, Г. Є. (2017). Наукове обґрунтування доцільності використання крохмальної патоки у складі йогуртів. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 23, 1, 240—247. <https://doi.org/10.24263/2225-2916-2022-31-32>.

Angelin, J., Kavitha, M. (2020). Exopolysaccharides from probiotic bacteria and their health potential. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, 853—865. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.190>.

- Batawy, O. E., Khalil, O. S. (2018). Manufacture and Properties of Low-Fat Bio Yoghurt Containing Probiotic Strains and Maltodextrins Prebiotic. *J. Prob Health*, 6, 192. <https://doi.org/10.4172/2329-8901.1000192>.
- Chen, C., Zhao, S., Hao, G., Yu, H., Tian, H., Zhao, G. (2017). Role of lactic acid bacteria on the yogurt flavour: A review. *International Journal of Food Properties*, 20(sup1), S316—S330. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1295988>.
- Domagała, J., Sady, M., Grega, T., Bonczar, G. (2006). Rheological properties and texture of yoghurts when oat-maltodextrin is used as a fat substitute. *International Journal of Food Properties*, 9(1), 1—11. <https://doi.org/10.1080/10942910600588776>.
- Eke-Ejiofor J. (2015). Functional properties of starches, physico-chemical and rheological properties of glucose syrup made from cassava and different potato varieties. *International Journal of Recent Scientific Research*, 6, 4400—4406. <https://doi.org/10.24327/IJRSR>.
- Gökşen, G., EKİZ, H. I. (2018). Pasting and gel texture properties of starch-molasses combinations. *Food Science and Technology*, 39, 93—102. <https://doi.org/10.1590/fst.27817>.
- Grenby, T., Mistry, M. (2000). Properties of maltodextrins and glucose syrups in experiments in vitro and in the diets of laboratory animals, relating to dental health. *British Journal of Nutrition*, 84(4), 565—574. <https://doi.org/10.1017/S0007114500001884>.
- Mosquera-Martínez, A. J., Sepúlveda-Valencia, J. U., Ciro-Velásquez, H. J., Vargas-Díaz, S., Pérez-Escobar, L. (2023). Whole yogurt sweetened with glucose-galactose syrup obtained by nanofiltration: Effect on galactooligosaccharides concentration, physicochemical and sensory properties. *Applied Food Research*, 3(1), 100272. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100272>.
- Hami, M., Putri, S. K., Handayani, T. D. (2021, May). Characteristics of Glucose Syrup From Various Sources of Starch. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 757, No. 1, p. 012064). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/757/1/012064>.
- He, J., Han, Y., Liu, M., Wang, Y., Yang, Y., Yang, X. (2019). Effect of 2 types of resistant starches on the quality of yogurt. *Journal of dairy science*, 102(5), 3956—3964. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15562>.
- Hofman, D. L., Van Buul, V. J., Brouns, F. J. (2016). Nutrition, health, and regulatory aspects of digestible maltodextrins. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(12), 2091—2100. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.940415>.
- Jia D., Zhou L., Zheng Y., (2017). Properties of a novel thermostable glucose isomerase mined from *Thermus oshimai* and its application to preparation of high fructose corn syrup. *Enzyme and Microbial Technology*. 99: 1—8. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2017.01.001>.
- Lobato-Calleros, C., Ramírez-Santiago, C., Vernon-Carter, E. J., Alvarez-Ramirez, J. (2014). Impact of native and chemically modified starches addition as fat replacers in the viscoelasticity of reduced-fat stirred yogurt. *Journal of Food Engineering*, 131, 110—115. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.01.019>.
- Mohameed, H. A., Abu-Jdayil, B., Eassa, A. M. (2006). Flow properties of corn starch–milk–sugar system prepared at 368.15 K. *Journal of food engineering*, 77(4), 958—964. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.08.040>.
- Nikolić, I., Petrović, J., Pajin, B., Lončarević, I., Šubarić, D., Ačkar, Đ., Miličević, B., Šereš, Z., Dokić, L., Šoronja-Simović, D., Jozinović, A. (2023). The Influence of Starch Sweeteners on Functional Properties of Cellulose Fat Mimetics: Rheological and Textural Aspects. *Polymers*, 15(14), 2982. <https://doi.org/10.3390/polym15142982>.
- Polischuk, G., Sharahmatova, T., Breus, N., Bass, O., Shevchenko, I. (2019). Studies of water freezing features in ice cream with starch syrup. *Food Science and Technology*, 13(2). <https://doi.org/10.15673/fst.v13i2.1383>.
- Pang, Z., Xu, R., Luo, T., Che, X., Bansal, N., Liu, X. (2019). Physiochemical properties of modified starch under yogurt manufacturing conditions and its relation to the properties of yogurt. *Journal of food engineering*, 245, 11—17. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.10.003>.
- Tomovska, J., Gjorgievski, N., Makarijoski, B. (2016). Examination of pH, Titratable Acidity and Antioxidant Activity in Fermented Milk, *Journal of materials Science and Engineering. Journal of*

Materials Science and Engineering A, 6(11), 326—333. <https://doi.org/10.17265/2161-6213/2016.11-12.006>.

Zargaraan, A., Kamaliroosta, L., Yaghoubi, A. S., Mirmoghadaie, L. (2016). Effect of substitution of sugar by high fructose corn syrup on the physicochemical properties of bakery and dairy products: a review. *Nutrition and Food Sciences Research*, 3(4), 3—11. <https://doi.org/10.18869/acadpub.nfsr.3.4.3>.

Ünlü, E., Soysal, Ç. (2017). Starch Based Sugar; Production, Usage and Health Effect. *Eurasian Journal of Food Science and Technology*, 38—42. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3822644>.

STRUCTURAL AND MECHANICAL AND CONFORMATIONAL CHANGES IN THE PROCESS OF MAKING WHEAT BREAD WITH RICE PROTEIN CONCENTRATE

A. Shevchenko, S. Litvynchuk, O. Galenko

National University of Food Technologies

Key words:

Bread

Rice protein concentrate

Wheat flour

Dough

Conformational changes

Article history:

Received 10.07.2023

Received in revised form
28.07.2023

Accepted 14.08.2023

Corresponding author:

A. Shevchenko

E-mail:

nastyusha8@ukr.net

Citation: A. O. Шевченко, С. І. Літвинчук, О. О. Галенко (2023). Структурно-механічні та конформаційні зміни в процесі виготовлення пшеничного хліба з концентратом рисового протеїну. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 176—184.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-16

ABSTRACT

The main disadvantage of bread made from wheat flour is its insufficient nutritional value, in particular due to low protein content. It is advisable to increase the content of this nutrient by changing the recipe composition, namely by adding raw materials rich in complete proteins. Since it is recognized that animal proteins can be allergens, concentrates, isolates and hydrolysates of proteins of plant origin, in particular those obtained from rice, can be an alternative. The chemical composition of rice significantly differs from the chemical composition of wheat, and therefore the products of its processing will have an effect on the structure of dough and bread with such an additive.

Protein concentrates are obtained from defatted rice bran by the enzymatic or alkaline method. Rice protein can regulate glutathione metabolism and mitigate oxidative damage to lipids and proteins, resulting in an antioxidant response that prevents hyperlipidemia. Rice processing products are often used in the technology of gluten-free products, less often in the technology of wheat bread.

It was established that the use of rice protein concentrate reduced the specific volume of the dough by 2.9—13.5% compared to the control sample. The gluten framework weakened, which prevents the retention of gas bubbles formed during fermentation.

It was established that the diameter of the ball during fermentation decreased by 3.8—9.6% depending on the dosage of rice protein concentrate. This will contribute to improving the bread's ability to keep its shape.

The infrared spectra of the dough and bread showed difference in the values of the relative reflectance coefficient in the spectra of the dough of the control sample and with the addition of 8% rice protein concentrate both after kneading and after fermentation. Rice protein concentrate delayed the development of the gluten network. At the same time, a positive effect on the ability of the dough to keep its shape was observed.

СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ТА КОНФОРМАЦІЙНІ ЗМІНИ В ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА З КОНЦЕНТРАТОМ РИСОВОГО ПРОТЕЇНУ

А. О. Шевченко, С. І. Літвинчук, О. О. Галенко

Національний університет харчових технологій

Основним недоліком хліба з пшеничного борошна вважається його недостатньо висока харчова цінність, зокрема через низьку повноцінність білка. Доцільно підвищувати вміст цього нутрієнту, змінюючи рецептурний склад шляхом саме додавання сировини, багатой на повноцінні білки. Оскільки визнано, що тваринні білки можуть бути алергенами, то альтернативою можуть бути концентрати, ізоляти та гідролізати протеїнів рослинного походження, отримані з рису. Хімічний склад рису значно відрізняється від хімічного складу пшениці, а отже, продукти його переробки матимуть вплив на структуру тіста та хліба з такою добавкою.

Протеїнові концентрати отримують зі знежирених рисових висівок ферментативним або лужними методом. Рисовий протеїн може регулювати метаболізм глутатіону і пом'якшувати окисне пошкодження ліпідів і білків, що призводить до антиоксидантної відповіді, яка запобігає виникненню гіперліпідемії. Продукти переробки рису часто застосовують у технологіях безглютенових виробів, рідше — в технологіях пшеничного хліба.

Встановлено, що використання концентрату рисового протеїну зменшило питомий об'єм тіста на 2,9—13,5% порівняно з контрольним зразком. Клейковинний каркас послаблюється, що перешкоджає утримувannya бульбашок газу, які утворилися під час бродіння. При цьому діаметр кульки під час бродіння зменшувався на 3,8—9,6% залежно від дозування концентрату рисового протеїну. Це сприятиме покращенню формоутримувальної здатності хліба.

Інфрачервоні спектри тіста та хліба показали різницю у значеннях коефіцієнта відносного відбиття в спектрах тіста контрольного зразка та з додаванням 8% концентрату рисового протеїну як після замішування, так і після бродіння. Концентрат білка рису спричиняв затримку розвитку глютенної мережі. При цьому спостерігався позитивний вплив на здатність тіста зберігати форму.

Ключові слова: хліб, концентрат рисового протеїну, пшеничне борошно, тісто, конформаційні зміни.

Постановка проблеми. Основним недоліком хліба з пшеничного борошна вважається його недостатньо висока харчова цінність, зокрема через низьку повноцінність білка (Xue, Matros, Mock, & Mühling, 2019). Зважаючи на популярність такого виду хлібобулочних виробів серед споживачів, доцільно підвищувати вміст цього нутрієнту, змінюючи рецептурний склад шляхом додання сировини, багатой на повноцінні білки. Визнано, що тваринні білки можуть бути алергенами, тому альтернативою можуть бути концентрати, ізоляти та гідролізати протеїнів рослинного походження, отримані з рису.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Протеїнові концентрати отримують зі знежирених рисових висівок ферментативним або лужними методом (Reche та ін., 2010). Дослідження його властивостей показало, що вологозв'язувальна здатність була в діапазоні 3,87—5,60 (г/г), тоді як жиропоглинальна здатність коливалася від 3,74 до 9,18 (г/г). Білкові концентрати показали хорошу стійкість піни з періодом напіврозпаду 42,6 години. Емульгуюча здатність білкових концентратів коливалася від 24% до 74%. Емульсії були досить стабільними за різних концентрацій рН, солі та цукру (Chandi, & Sogi, 2007).

Визначали вплив двох різних методів екстракції на антиоксидантну здатність протеїну, екстрагованого лугом (0,2% NaOH) і α -амілазою, під час травлення *in vitro* протягом 2 год пепсином і протягом 3 год панкреатином. Після перетравлення пепсином-панкреатином отримували білкові гідролізати, які були супернатантами за відсутності неперетравленого залишку (БПЗ), і білок, в якому залишився неперетравлений залишок (ЗПЗ). ЗПЗ продемонстрував сильнішу антиоксидантну реакцію щодо поглинання вільних радикалів, хелатну активність металів і відновну здатність (Wang, Liu, Li, & Yang, 2016).

Було виявлено, що рисовий протеїн може регулювати метаболізм глутатіону і пом'якшувати окисне пошкодження ліпідів і білків, що призводить до антиоксидантної відповіді, яка запобігає виникненню гіперліпідемії (Cai та ін., 2016).

Продукти переробки рису часто застосовують у технологіях безглютенових виробів. Було досліджено можливість заміни яєчного альбуміну, який є алергеном, білковими концентратами рисових висівок, що не викликають алергії, щоб покращити якість хліба. Однак варто враховувати, що вони гірше засвоюються і мають меншу здатність транспортувати важливі такі поживні речовини, як кальцій і залізо (Day, Cakebread, & Loveday, 2022). Рисові висівки використовували як вихідний матеріал для приготування білкового концентрату рисових висівок за методикою лужно-кислотної екстракції. Отриманий протеїн складався з $68,07 \pm 0,54\%$ білка. Додавання протеїну вплинуло на реологічні властивості, особливо на модуль пружності тіста залежно від коливань, і на відносну еластичність хліба. Внесення 2% протеїну сприяло запобіганню черствінню хліба, порівняно з яєчним альбуміном (Phongthai, D'Amico, Schoenlechner, & Rawdkuen, 2016).

Вивчено ефект від заміни пшеничного борошна 5%, 10% і 15% білковими концентратами натуральних і ферментованих дріжджами рисових висівок на властивості тіста та хліба. Органолептичні показники та питомий об'єм пшеничного хліба (контроль) істотно не відрізнялися від композитного хліба з кількістю до 10% протеїну рисових висівок, тому на цьому рівні було встановлено раціональний рівень заміни. Композитний хліб містив вищий загальний вміст амінокислот, активність поглинання радикалів і здатність відновлювати залізо (43,04—48,87 г/100 г, 182,77—201,65 ммоль TEAC/100 г і 613,29—637,81 ммоль TE/100 г), ніж контроль (33,86 г/100 г, 109,43 ммоль TEAC/100 г і 540,13 ммоль TE/100 г). Методом скануючої електронної мікроскопії виявлено, що композитний хліб мав поверхню з вбудованими білковими гранулами (Chinma, Plowefah, Balakrishnan, Mohammed, & Muhammad, 2015).

Висока антиоксидантна активність, поглинання води та жиру, світліший колір і вища температура денатурації білка свідчать про їхній потенціал як функціональних інгредієнтів у випічці, зокрема пшеничного хліба. Досліджували хімічні, антиоксидантні, функціональні і термічні властивості дріжджово-ферментованого білкового концентрату рисових висівок, природно ферментованого білкового концентрату рисових висівок і неферментованого рисового білкового концентрату. Вміст білка становив 72,50%, 68,92% і 65,73% відповідно, тоді як вміст золи становив 4,72%, 4,61% і 3,04% відповідно. Дріжджово-ферментований білковий концентрат рисових висівок мав найвищу температуру денатурації та значення ентальпії, структури β -листів були також більше в цій сировині (Chinma, Ilowefah, Balakrishnan Ramakrishnan, & Muhammad, 2014).

Мета дослідження: визначити вплив концентрату рисового протеїну в поєднанні з соняшниковим лецитином на структурно-механічні та конформаційні зміни в структурі тіста та хліба, а також засвоюваність виробів.

Матеріали і методи. *Підготовка зразків.* Для досліджень використовували борошно пшеничне вищого сорту, лецитин соняшниковий з вмістом фосфатидилхоліну 95,3%, концентрат рисового протеїну.

Зразки тіста готували безопарним способом з додаванням пресованих хлібопекарських дріжджів і солі. До маси борошна додавали лецитин у кількості 3%. Для визначення раціонального дозування концентрату рисового протеїну його додавали в кількості 4%, 8% та 16% до маси борошна з розрахунку забезпечення 20, 30 та 40% добової потреби в білку. Контрольним був зразок з лецитином без концентрату рисового протеїну.

Газоутримувальна здатність тіста. Газоутримувальну здатність характеризували питомим об'ємом тіста під час його бродіння. У мірний циліндр 250 см³ поміщали 50 г тіста та витримували в термостаті при температурі 30 °C протягом 3 годин. Кожні 30 хв від початку замішування фіксували об'єм тіста. Кінцеве значення виражали в см³/г (Medvid, Shydlovska, & Dotsenko, 2018).

Формоутримувальна здатність тіста. Формоутримувальну здатність тіста характеризували за показником розпливання кульки тіста в процесі бродіння. Тісто замішують з рецептурних компонентів температурою 30 °C. Наважку 100 г формують у кульку і кладуть в центр скляної пластини з міліметровою шкалою. Пластинку з тістом розташовують у зволоженому термостаті при 30 °C. Кожні 30 хв протягом 3 год фіксують середній діаметр кульки тіста (Бортнічук, Цирульнікова, & Доценко, 2014).

Інфрачервона спектроскопія в ближній інфрачервоній області. Спектроскопію проводили на спектрометрі Infrapid (Labor-Mim, Угорщина). Спектри відбивання від подрібнених зразків з гладкою поверхнею досліджували в ближньому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль від 1330 до 2370 нм. Спектрометр реєстрував спектр відбиття від досліджуваного зразка та від еталона І0. Спектри представлені як відбиваюча здатність R у відносних одиницях (співвідношення інтенсивностей $I/I_0 = R$), залежно від довжини хвилі в нм (Niewietzki, Tillmann, Becker, & Mollers, 2010). Іntenсивність відбивання вимірювали в тісті після замішування і після 3,5 год бродіння та в хлібі. Виразали інтенсивність відбивання через перерахунок відносного коефіцієнта відбивання до спектрального індексу (Yip, Gausemel, Sande, & Dyrstad, 2012).

Статистичний аналіз. Досліди проводили в трьох повторностях. Графічне представлення експериментальних даних здійснювали за допомогою пакета стандартних програм статистичної обробки — Microsoft Excel 2010.

Викладення основних результатів дослідження. Структурно-механічні властивості тістової системи значною мірою визначають якісні показники готових хлібобулочних виробів. У процесі бродіння в тістовій заготовці відбувається перебіг мікробіологічних, біохімічних, колоїдних процесів, які впливають на формування структури тіста і хліба. Визначальну роль у перебігу цих процесів відіграють компоненти рецептури. Концентрат рисового протеїну як джерело білка, який не бере участь в утворенні клейковинного каркасу, призводить до зміни структури та структурних елементів тіста. Білки клейковини перед змішуванням щільно скручуються, а численні дисульфідні зв'язки відповідають за їх структуру. Щоб розірвати ці дисульфідні зв'язки протеїн клейковини має бути механічно зруйнований шляхом замішування зволоженого тіста. Ці розірвані зв'язки утворюють сульфгідрильні групи, які повинні бути окислені для утворення нових дисульфідних зв'язків для фіксації структури тіста. Однак додавання інгредієнтів може пошкодити глютену мережу, перешкоджаючи формуванню цих зв'язків (Lu, Brennan, Serventi, & Brennan, 2018; Prieto-Vázquez del Mercado, Mojica, & Morales-Hernández, 2022).

Додавання концентрату рисового протеїну вплинуло на питомий об'єм тіста під час його бродіння (рис. 1).

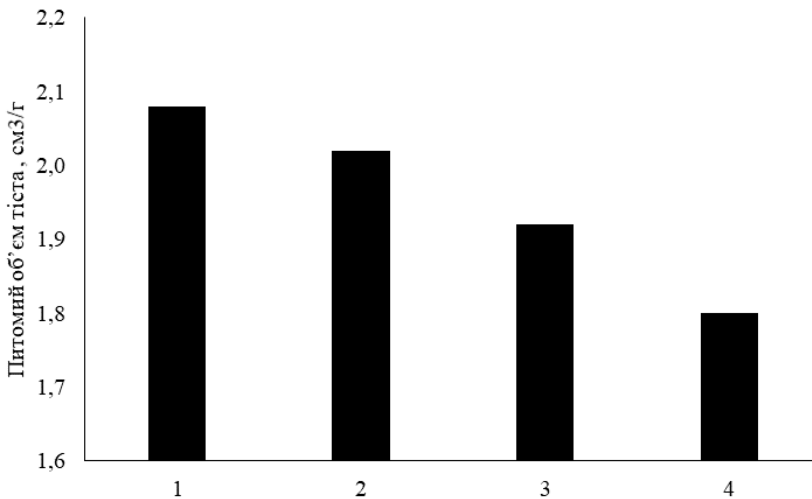


Рис. 1. Питомий об'єм тіста:

1 — контроль; 2, 3, 4 — зразки з 4%, 8%, 16% концентрату рисового протеїну

Встановлено, що використання концентрату рисового протеїну зменшило питомий об'єм тіста на 2,9—13,5 % порівняно з контрольним зразком. Клейковинний каркас послаблюється, що перешкоджає утримуванию бульбашок газу, що утворилися під час бродіння.

Встановлено (рис. 2), що діаметр кульки під час бродіння зменшувався на 3,8—9,6% залежно від дозування концентрату рисового протеїну. Це сприятиме покращенню формоутримувальної здатності хліба.

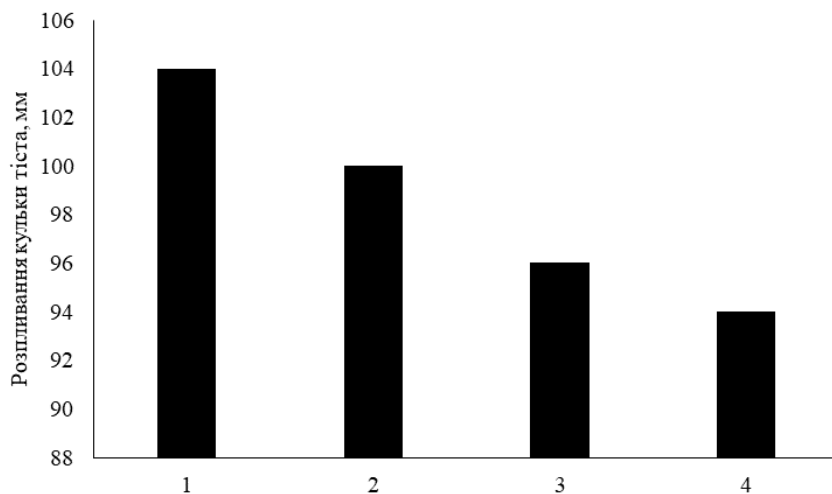


Рис. 2. Розпливання кульки тіста:

1 — контроль; 2, 3, 4 — зразки з 4%, 8%, 16% концентрату рисового протеїну

Зміна структурно-механічних властивостей зокрема пов'язана з конформаційними перетвореннями в структурі тіста.

Аналіз зміни та перерозподілу структурних груп після замісу тіста, через 3,5 год його бродіння та готового хліба проводили методом інфрачервоної спектроскопії шляхом перерахунку коефіцієнта відбиття в спектральний індекс (рис. 3). Досліджували зразок з внесенням 8% концентрату рисового протеїну як середню кількість у досліджуваному діапазоні. Для всіх спектрів спостерігалися максимуми при довжинах хвиль 1460 нм, 1770 нм, 1930 нм, 2100 нм, 2270 нм і 2350 нм.

Екстремум на довжині хвилі 1460 нм відповідає валентним коливанням групи О-Н. Функціональна група S-H присутня на довжині хвилі 1770 нм. Діапазон довжин хвиль 1700—1790 нм може свідчити про проходження в тісті процесу протеолізу. Отже, в спектрах усіх зразків присутні функціональні сульфгідрильні групи S-H (перший обертон) і пологі екстремуми. Спектральний показник контрольного зразка тіста після замісу на піку становив 0,17, а зразка з добавкою — 0,20. Це пояснюється тим, що білки добавки впливають на перебіг протеолізу (Neji, Semwal, Máthé, & Sipos, 2023). Після закінчення бродіння спектри тіста в цьому діапазоні значно зміщені вгору, особливо спектр контрольного зразка, спектральний показник якого становив 0,30, а зразків з добавкою — 0,25. Це пояснюється тим, що концентрат рисового протеїну завдяки вищій водопоглинальній і вологоутримувальній здатності сприяє меншому розрідженню тіста в процесі бродіння. Це забезпечує його краще збереження форми, що підтверджено дослідженням розпливання кульки тіста (рис. 2).

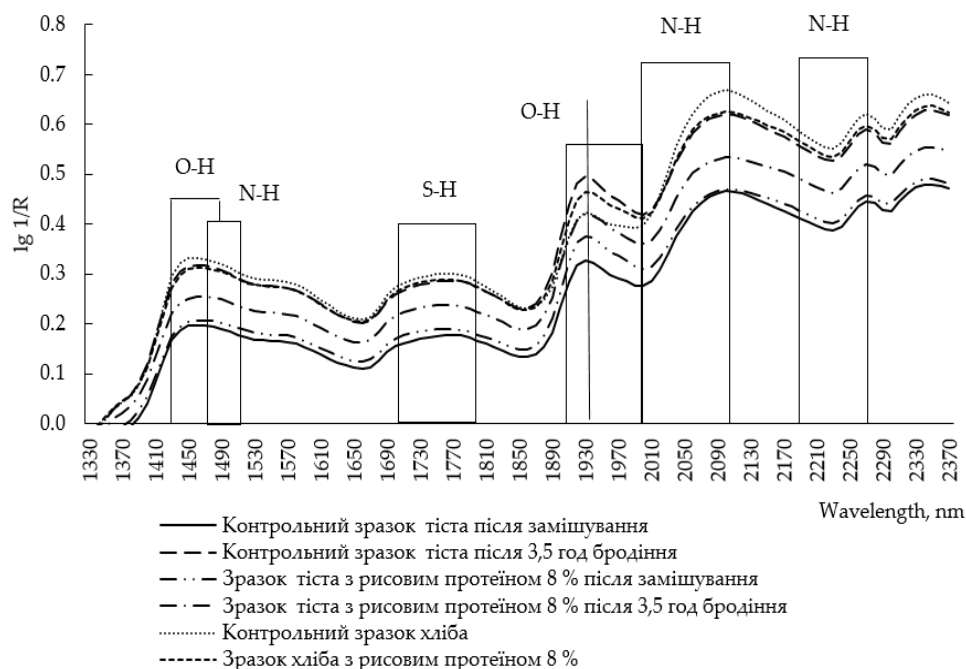


Рис. 3. Зміни та перерозподіл структурних груп у хлібі й тісті з 8% концентрату рисового протеїну після замішування і через 3,5 год бродіння

Спектри випеченого хліба практично перекривалися у всьому діапазоні довжин хвиль, оскільки під час випікання високі температури викликають руйнування білкових структур (Zhou та ін., 2021). У діапазоні довжин хвиль 1700—1790 нм спектральний показник пікового значення становив 0,30, що збігалось зі значенням контрольного зразка після ферментації.

Білкові структури характеризували на довжині хвилі 2100 нм. Спектри тіста після замісу показали, що при додаванні концентрату рисового протеїну він становив 0,48. При тій же довжині хвилі спектральний індекс контрольного зразка становив 0,46. Після ферментації значення були 0,62 для контролю та 0,53 для зразка з добавкою. Такі значення пояснюються тим, що концентрат рисового протеїну не містить клейковинних білків і відповідно не бере участі в утворенні клейковини (Ziobro, Juszczak, Witczak, & Korus, 2015). Крім того, білкові речовини концентрату утворюють комплекси з білками борошна і затримують розвиток клейковинного каркасу.

Також для характеристики білкових груп використовують довжини хвиль 1510 нм, 2060 нм, 2100 нм і 2180 нм, однак піків на цих довжинах хвиль не було. Зокрема, на довжині хвилі 2180 нм характеризується вміст білка без впливу крохмалю, а оскільки вміст крохмалю в тісті є високим через його присутність у пшеничному борошні, на спектрах тіста не було характерних піків.

Вміст лігніну можна оцінити на довжині хвилі 2270 нм (комбінація валентних коливань О-Н / валентності С-О). Оскільки в рисовому білковому концентраті лігніну був відсутній, спектр хліба з ним був дещо нижчим за спектр контрольного

зразка. Це свідчить про практично однакове перетравлення хліба організмом як з добавкою, так і без неї (Thilagavathi та ін., 2020).

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на визначення можливих технологічних прийомів для збільшення питомого об'єму виробів з концентратом рисового протеїну.

Висновки

Визначальну роль у перебігу процесів відіграють компоненти рецептури. Встановлено, що використання концентрату рисового протеїну зменшило питомий об'єм тіста на 2,9—13,5% порівняно з контрольним зразком. Клейковинний каркас послаблюється, що перешкоджає утримуванию бульбашок газу, які утворилися під час бродіння. Діаметр кульки під час бродіння зменшувався на 3,8—9,6% залежно від дозування концентрату рисового протеїну. Це сприятиме покращенню формоутримувальної здатності хліба.

Інфрачервоні спектри тіста та хліба показали різницю у значеннях коефіцієнта відносного відбиття в спектрах тіста контрольного зразка та з додаванням 8% концентрату рисового протеїну як після замішування, так і після бродіння. Концентрат білка рису викликав затримку розвитку глютенної мережі. При цьому спостерігався позитивний вплив на здатність тіста зберігати форму.

Література

- Бортнічук, О. В., Цирульнікова, В. В., Доценко, В. Ф. (2014). Використання пшеничних вівок у виробництві хлібобулочних виробів. *Scientific researches and their practical application. modern state and ways of development*, 3(36), 15—21.
- Cai, J., Yang, L., He, H., Xu, T., Liu, H., Wu, Q., Ma, Y., Liu, Q., Nie, M. (2014). Antioxidant capacity responsible for a hypocholesterolemia is independent of dietary cholesterol in adult rats fed rice protein. *Gene*, 533(1), 57—66. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2013.09.124>.
- Chandi, G. K. Sogi, D. S. (2007). Functional properties of rice bran protein concentrates. *Journal of Food Engineering*, 79, 592—597.
- Chinma, C. E., Ilowefah, M., Balakrishnan, S., Mohammed, M., Muhammad, K. (2015). Effect of addition of protein concentrates from natural and yeast fermented rice bran on the rheological and technological properties of wheat bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(2), 290—297. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12619>.
- Chinma, C. E., Ilowefah, M., Balakrishnan S. B., Ramakrishnan, Y., Muhammad, K. (2014). Chemical, antioxidant, functional and thermal properties of rice bran proteins after yeast and natural fermentations. *International Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12533>.
- Day, L., Cakebread, J. A., Loveday, S. M. (2022). Food proteins from animals and plants: Differences in the nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 428—442. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.020>.
- Lu, X., Brennan, M. A., Serventi, L., Brennan, C. S. (2018). Incorporation of Mushroom Powder into Bread Dough—Effects on Dough Rheology and Bread Properties. *Cereal Chemistry*, 95, 418—427.
- Medvid, I., Shydlovska, O., Dotsenko, V. (2018). The use of sunflower lecithin in the technology of glutenfree bread with enzymatic modification of flour starch. *Food and Environment Safety*, 17(4), 352—362. <http://fens.usv.ro/index.php/FENS/article/view/611>.
- Neji, C., Semwal, J., Máthé, E., Sipos, P. (2023). Dough rheological properties and macronutrient bioavailability of cereal products fortified through legume proteins. *Processes*, 11, 417. <https://doi.org/10.3390/pr11020417>.

Niewietzki, O., Tillmann, P., Becker, H. C., Möllers, C. (2010). A new near-infrared reflectance spectroscopy method for high-throughput analysis of oleic acid and linolenic acid content of single seeds in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 94—100. <https://doi.org/10.1021/jf9028199>.

Phongthai, S., D'Amico, S., Schoenlechner, R., Rawdkuen, S. (2016). Comparative study of rice bran protein concentrate and egg albumin on gluten-free bread properties. *Journal of Cereal Science*, 72, 38—45. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.09.015>.

Prieto-Vázquez del Mercado, P., Mojica, L., Morales-Hernández, N. (2022). Protein Ingredients in Bread: Technological, Textural and Health Implications. *Foods*, 11, 2399. <https://doi.org/10.3390/foods11162399>

Reche, M., Pascual, C. Y., Fiandor, A., Polanco, I., Rivero-Urgell, M., Chifre, R., Johnston, S., Martín-Esteban, M. (2010). The effect of a partially hydrolysed formula based on rice protein in the treatment of infants with CM protein allergy. *Pediatric Allergy and Immunology*, 21(4/1), 577—585. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3038.2010.00991.x>.

Thilagavathi, T., Pandiyan, M., Suganyadevi, M., Sivaji, M., Yuvaraj, M., Sasmita, R. (2020). Dietary fibre - health benefits. *Research Today*, 2(6), 519—522.

Wang, Z., Liu, Y., Li, H., Yang, L. (2016). Rice proteins, extracted by alkali and α -amylase, differently affect in vitro antioxidant activity. *Food Chemistry*, 206, 137—45. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.042>.

Xue, C., Matros, A., Mock, H. P., Mühling, K. H. (2019). Protein Composition and Baking Quality of Wheat Flour as Affected by Split Nitrogen Application. *Frontiers in plant science*, 10, 642. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00642>.

Yip, W. L., Gausemel, I., Sande, S. A., Dyrstad, K. (2012). Strategies for multivariate modeling of moisture content in freeze-dried mannitol-containing products by near-infrared spectroscopy. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 70, 202—211. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2012.06.043>.

Zhou, Y., Dhital, S., Zhao, C., Ye, F., Chen, J., Zhao, G. (2021). Dietary fiber-gluten protein interaction in wheat flour dough: Analysis, consequences and proposed mechanisms. *Food Hydrocolloids*, 111, 106203. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106203>.

Ziobro, R., Juszczak, L., Witczak, M., Korus, J. (2015). Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 571—580. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2043-5>.

EXTRACTION AND ANALYTICAL CHARACTERISTICS OF COMPLEXES OF METAL CARBOXYLATES WITH CROWN ETHERS

O. Kronikovskiy, E. Sokol, O. Kronikovska

National University of Food Technologies

N. Stadnichuk

L. I. Medved's research center of preventive toxicology, food and chemical safety, ministry of health, Ukraine (state enterprise)

Key words:

Crownethers
Extraction
Metals
Complexation

Article history:

Received 04.07.2023
Received in revised form
20.07.2023
Accepted 04.08.2023

Corresponding author:

O. Kronikovskiy

E-mail:

oleg.kronikovsky@gmail.com

Citation: O. I. Кроніковський, Є. В. Сокол, О. П. Кроніковська, Н. О. Стаднічук (2023). Екстракційно-аналітичні характеристики комплексів карбоксилатів металів з краун-етерами. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 185—193.
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-17

ABSTRACT

Extraction in the analysis is one of the most common methods of separating the mixture of elements and their concentration before the final definition. In order to solve this problem, above all, high-level reagents are needed, among which macrocyclic polyethers can be classified, especially since in some cases the selectivity of complex reactions of metal ions with macrocyclic ligands in extraction is increasing.

Complex compounds of metals from crown ethers in water or organic solvents, taken separately, are minor used in analytical practice. The most promising is the use of crown ethers as extractants for the selective extraction of metals from the water phase into organic to separate them.

These extraction systems can be promising for extraction and separation of several elements. The possibility of developing such methods can be foreseen if the quantitative characteristics of stability of these compounds are known — stability constants, and in extraction systems — extraction constants. Having these values, it is possible to calculate the completeness of the binding of the determined ion into a complex compound under the given conditions, to choose the optimal concentration of reagents, and to determine the selectivity of complex formation.

In the article, the possibility of selective extraction of certain cations of metals in the form of multi-ligand complexes with polyether and corresponding protons from the aqueous phase to organic was substantiated. The factors influencing the selectivity of extraction were deeply analyzed, all the conclusions made on the expediency of the use of certain reagents and solvents for the development of methods of extraction separation and extraction of metals in the form of complexes with crown-ethers were made. The research considers the correlations between the extraction properties of these systems and a number of parameters that affect the extraction process.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-17

ЕКСТРАКЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСІВ КАРБОКСИЛАТІВ МЕТАЛІВ З КРАУН-ЕТЕРАМИ

О. І. Кроніковський, Є. В. Сокол, О. П. Кроніковська

Національний університет харчових технологій

Н. О. Стаднічук

ДП «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л. І. Медведя МОЗ України»

Екстракція в аналізі є одним з найбільш поширених методів розділення сумішей елементів і їх концентрування перед заключним визначенням. Для вирішення цієї задачі необхідні перш за все високовибіркові реагенти, до числа яких можна віднести макроциклічні поліетери, тим паче, що в деяких випадках вибірковість реакцій комплексоутворення йонів металів з макроциклічними лігандами при екстракції зростає.

Комплексні сполуки металів з краун-етерами у воді чи органічних розчинниках, взятих окремо, мало використовуються в аналітичній практиці. Найбільш перспективним є використання краун-етерів як екстрагентів для вибіркового вилучення металів з водної фази в органічну з метою їх розділення.

Екстракційні системи можуть бути перспективними для екстракційного вилучення та розділення ряду елементів. Можливість розробки таких методик може бути передбачена, якщо відомі кількісні характеристики стійкості цих сполук — константи стійкості, а в екстракційних системах — константи екстракції. Маючи значення цих величин, можна розрахувати повноту зв'язування визначуваного йона в комплексну сполуку за певних умов, підібрати оптимальні концентрації реагентів, визначити селективність комплексоутворення.

Показана та обґрунтована можливість селективного вилучення певних катіонів металів у виді різнолігандних комплексів з поліетерами і відповідними протийонами з водної фази в органічну. Проаналізовано фактори, що впливають на селективність екстракції, та підтверджено доцільність використання тих чи інших реагентів і розчинників для розробки методик екстракційного розділення та вилучення металів у виді комплексів з краун-етерами. Розглянуто кореляційні залежності між екстракційними властивостями досліджуваних систем і низкою параметрів, що впливають на процес екстракції.

Ключові слова: краун-етери, екстракція, метали, комплексоутворення.

Постановка проблеми. Екстракція катіонів металів макроциклічними поліетерами інтенсивно досліджується фахівцями в галузі аналітичної хімії та екстракційної технології (Vogtle, & Weber, 1985; Hiraoka, 1986). Запропоновано ряд методів, що ґрунтуються на утворенні комплексів M^{n+} –краун-етер–аніон барвника (Lehn, Atwood, Davies, MacNicol, & Wogtle, 1996). Однак ці методи непридатні для екстракції із сильно кислих розчинів ($pH < 2-3$), які досить часто зустрічаються на практиці. Це пов'язано з протонізацією аніона барвника в кислому середовищі. Такого недоліку позбавлені методи, що базуються на екстракції нітратів.

Водночас перехід від великих гідрофобних органічних протийонів до нітрат-йону значно понижує значення констант екстракції, а в деяких випадках і коефіцієнт розподілу.

Попередні досліді показали, що цим недолікам можна запобігти, використавши як протийони карбоксилат-йони (Назаренко, Крониковский, & Сухан, 1987). Самі одноосновні аліфатичні монокарбонові кислоти є хорошими екстрагентами більшості йонів металів, для яких характерний катіонний стан у водних розчинах. Однак загалом цей клас екстракційних реагентів не відзначається високою селективністю, тому виникає необхідність використання додаткових реагентів і створення умов для збільшення селективності дії монокарбонових кислот.

Ми припустили, що використання як комплексоутворюючих реагентів поліетерів, які здатні утворювати комплекси з великою групою йонів і в той же час виявляють себе як селективні екстрагенти, має привести як до збільшення ступеня вилучення карбоксилатів металів в органічну фазу, так і дасть змогу розділити їх (Сухан, Крониковский, & Назаренко, 1988).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературі є ряд даних щодо екстракції катіонів металів в екстракційних системах з використанням краун-етерів і монокарбонових кислот (Bader, & Bukhzam, 2014), що надає можливість розробки методик їх селективного вилучення та визначення.

Можливість розробки таких методик може бути передбачена, якщо відомі кількісні характеристики стійкості сполук — константи стійкості, а в екстракційних системах — константи екстракції.

Для розробки методик розділення, вилучення та визначення катіонів металів у таких екстракційних системах необхідно було дослідити та систематизувати вплив ряду факторів на екстракційну здатність цих систем, розглянути й обґрунтувати методи розрахунку кількісних характеристик комплексоутворення та екстракції, оскільки в літературі є лише розрізнені дані з цієї проблеми.

Мета статті полягає в дослідженні екстракційно-аналітичних характеристик комплексів карбоксилатів металів з краун-етерами з метою підбору умов кількісної і разом з тим селективної екстракції цих комплексів для розробки методик вилучення та подальшого визначення відповідних металів у різних об'єктах. Можливість розробки таких методик може бути передбачена, якщо відомі кількісні характеристики стійкості сполук — константи стійкості, а в екстракційних системах — константи екстракції.

Матеріали і методи. Розчин 18-краун-6 ("Aldrich"), робочі розчини нітратів металів готували розчиненням наважок солей у воді та додатково стандартизували комплексонометрично. Вихідний розчин Pb^{2+} готували розчиненням точної наважки металічного свинцю (99,9%) в нітратній кислоті кваліфікації «х.ч.». Розчин трихлорацетатної кислоти стандартизували рН-метричним титруванням. Хлороформ очищали багаторазовим промиванням водою.

Вміст Плюмбуму в водній та органічній фазах визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі «Сатурн-3П-1» (довжина хвилі 283,3 нм, полум'я пропан-бутан — повітря). Реєстрацію аналітичного сигналу вели за допомогою програмного забезпечення виробництва НВО «Семі» (м. Суми). Кислотність розчинів контролювали на рН-метрі ЕВ-74 зі скляним електродом.

Викладення основних результатів дослідження. Для вивчення впливу природи монокарбонової кислоти на екстракцію комплексів металів з поліетерами була вибрана система Pb^{2+} — 18-краун-6 — карбонова кислота. Це пов'язано з тим, що Плюмбум здатен вилучатися в органічну фазу як самими карбоновими кислотами при високих їх концентраціях (1—2 моль/л) (Сухан, Крониковский, & Назаренко, 1988), так і поліетерами в системах з аніонами барвників (Bond, Dietz, & Chiarizia, 2000; Rehman Ali, Anwar, & Yawar, 2006) та неорганічними йонами (Назаренко, Крониковский, & Сухан, 1987).

Експеримент проводили таким чином: в ділительну лійку поміщали необхідну кількість водного розчину 18C6, розчин солі Плюмбуму (II), певну кількість розчину нітратної кислоти чи літій гідроксиду для створення необхідного значення рН і доводили об'єм водної фази до 5 мл. Екстрагували протягом 2 хв хлороформним розчином карбонової кислоти. Після розділення фаз вимірювали рН водної фази. Вміст Плюмбуму у фазах після екстракції контролювали атомно-абсорбційним методом.

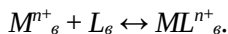
Таким чином були отримані ізотерми екстракції карбоксилатів Плюмбуму, а також комплексів його з 18C6 і карбоновими кислотами. За відсутності сольватуючих добавок не виявлено помітної ($> 1\%$) екстракції Pb^{2+} із 0—2 моль/л розчинів нітратної і трихлорацетатної кислот та 0—0,1 моль/л розчину бромпропіонової кислоти; 0,05 моль/л розчини бромкапронової і капронової кислот помітно екстрагують Плюмбум у слабкокислому середовищі.

Введення в екстракційну систему краун-етера 18C6 значно підвищує ступінь екстракції Плюмбуму карбоновими кислотами і розширює область рН максимального вилучення, тобто в системі утворюються добре екстраговані координаційні сполуки. Для карбонових кислот можна підібрати умови кількісної екстракції Плюмбуму; для нітратної кислоти максимальне значення вилучення Pb^{2+} досягає близько 85%, що спостерігається при її концентрації рівній 1,5—2 моль/л.

Досліджена залежність ступеня вилучення Плюмбуму від концентрації компонентів. Як і в раніше вивчених (Pavithran, Varma, & Reddy, 2003) комплексах, Pb^{2+} координує одну молекулу 18C6, що підтверджується як методом молярних відношень, так і логарифмічним методом. Методом зсуву рівноваги виявлено також, що до складу екстрагованих комплексів входять два аніони, тобто в досліджуваних умовах в органічну фазу Плюмбум переходить у вигляді комплексу $PbLA_2$.

Дані екстракційні системи можуть бути перспективними для екстракційного вилучення та розділення ряду елементів (Васильєва, Горліченко, Шевченко, Шепеліна, & Ганін, 2009). Можливість розробки таких методик може бути передбачена, якщо відомі кількісні характеристики стійкості цих сполук — константи стійкості, а в екстракційних системах — константи екстракції. Маючи значення цих величин, можна розрахувати повноту зв'язування визначуваного йона в комплексну сполуку за таких умов, підібрати оптимальні концентрації реагентів, визначити селективність комплексоутворення.

Отримані на прикладі Плюмбуму дані про вивченню комплексоутворення та екстракції в системі метал–поліетер–карбонова кислота дають змогу описати існуючі в двофазній системі рівноважні процеси. Катіон металу у водній фазі здатен зв'язуватися в бінарний комплекс з поліетером:



Кількісно цей процес характеризується константою стійкості:

$$\beta_L = [ML^{n+}]_o/[M^{n+}]_o[L]_o.$$

Процес розподілу поліетеру і карбонової кислоти між органічним розчинником та водою характеризується відповідними константами розподілу:

$$L_o \leftrightarrow L_o; \quad P_L = [L]_o/[L]_o;$$

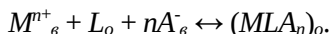
$$HA_o \leftrightarrow HA_o; \quad P_{HA} = [HA]_o/[HA]_o.$$

Монокарбонова кислота, яка міститься як в органічній так і в водній фазах, здатна дисоціювати в водну фазу:

$$HA_o \leftrightarrow H^+_o + A^-_o; \quad K_{HA} = [H^+]_o[A^-]_o/[HA]_o;$$

$$HA_o \leftrightarrow H^+_o + A^-_o; \quad K_{HAo} = [H^+]_o[A^-]_o/[HA]_o.$$

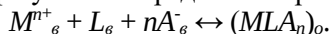
Реакцію утворення в органічній фазі екстрагованої комплексної сполуки можна записати у вигляді рівняння:



Константа рівноваги цього процесу являє собою загальну константу екстракції:

$$K_{ex} = [MLA_n]_o/[M^{n+}]_o[L]_o[A^-]_o^n.$$

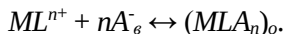
При використанні водорозчинних краун-етерів та введенні їх в реакційну систему у вигляді розчинів цих лігандів у воді, процес утворення комплексу та виділення його в органічну фазу можна представити рівнянням:



Константа рівноваги цього процесу дорівнює:

$$K^*_{ex} = [MLA_n]_o/[M^{n+}]_o[L]_o[A^-]_o^n.$$

За умови, що в водній фазі утворюється комплекс ML^{n+} , процес екстракції можна представити рівнянням:



Відповідна константа рівноваги, що являє собою константу екстракції, може бути записана у такому вигляді:

$$K^{**}_{ex} = [MLA_n]_o/[ML^{n+}]_o[A^-]_o^n.$$

Константи екстракції K_{ex} , K^*_{ex} , K^{**}_{ex} пов'язані між собою такими залежностями:

$$K^*_{ex} = K_{ex}P_L;$$

$$K^{**}_{ex} = K^*_{ex}\beta_L;$$

$$K_{ex} = K^{**}_{ex}\beta_L/P_L.$$

Знаючи величину однієї з констант екстракції та відповідні значення константи розподілу краун-етера і константи стійкості комплексу у воді, можна розрахувати значення іншої константи екстракції, яка нас цікавить.

Для розрахунку констант екстракції необхідно мати значення рівноважних концентрацій присутніх у системі компонентів. Якщо припустити, що метал переходить в органічну фазу виключно в вигляді комплексу MLA_n , то рівноважну концентрацію цього комплексу в органічній фазі після екстракції можна визначити, знайшовши відповідним інструментальним методом вміст металу в органічній фазі.

Розрахунок рівноважної концентрації краун-етера проводимо, виходячи з того, що за умов рівноваги загальна концентрація ліганда складає:

$$C_L = [L]_o + [L]_o + [ML^{n+}]_o + [MLA_n]_o;$$

$$[L]_o = [L]_o/P_L;$$

$$[ML^{n+}]_o = \beta_L[M^{n+}]_o[L]_o/P_L;$$

$$C_L = [L]_o + [L]_o/P_L + \beta_L[M^{n+}]_e[L]_o/P_L + [MLA_n]_o,$$

звідки

$$[L]_o = (C_L - [MLA_n]_o)P_L/(1 + P_L + \beta_L[M^{n+}]_e).$$

При розрахунку рівноважної концентрації карбоксилат-йона зважаємо, що за умов рівноваги загальна концентрація карбонової кислоти при відсутності її димеризації дорівнює:

$$C_{HA} = [A^-]_e + [HA]_e + [HA]_o + n[MLA_n]_o;$$

$$[HA]_o = [HA]_e + P_{HA};$$

$$[HA]_e = [H^+]_e[A^-]_e/K_{HA};$$

$$C_{HA} = [A^-]_e + (1 + P_{HA}) [H^+]_e[A^-]_e/K_{HA} + n[MLA_n]_o,$$

звідки

$$[A^-]_e = C_{HA} - (1 + P_{HA}) [H^+]_e[A^-]_e/K_{HA} - n[MLA_n]_o.$$

Якщо за умов проведення експерименту можливе утворення асоціатів карбонової кислоти з поліетером, то їх рівноважні концентрації також необхідно враховувати (Atanassova, & Dukov, 2005).

Розрахунок рівноважної концентрації металу базується на тому, що за умов рівноваги загальна концентрація металу дорівнює:

$$C_M = [M^{n+}]_e + [ML^{n+}]_e + [MLA_n]_o.$$

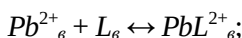
Якщо $[M^{n+}]_e < [ML^{n+}]_e$, тоді більш повно процес екстракції описує константа екстракції K^{**}_{ex} , для розрахунку якої необхідно знати рівноважну концентрацію комплексу ML^{n+} у водній фазі:

$$[ML^{n+}]_e = \beta_L[M^{n+}]_e[L]_o/P_L = \beta_L[M^{n+}]_e (C_L - [MLA_n]_o)/(1 + P_L + \beta_L[M^{n+}]_e).$$

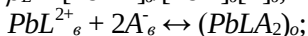
Якщо ж $[M^{n+}]_e > [ML^{n+}]_e$, то більш повно екстракційну систему характеризує константа екстракції K_{ex} , для розрахунку якої необхідно мати значення $[M^{n+}]_e$:

$$[M^{n+}]_e = (C_M - [MLA_n]_o)(1 + P_L + \beta_L[M^{n+}]_e)/(1 + P_L + \beta_L([M^{n+}]_e + C_L - [MLA_n]_o)).$$

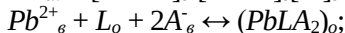
Отже, з урахуванням комплексоутворення у водній фазі та розподілом лігандів між органічним розчинником і водою, процеси, що відбуваються в екстракційній системі Плюмбум–поліетер–карбонова кислота, можна представити такою схемою:



$$\beta_L = [PbL^{2+}]_e/[Pb^{2+}]_e[L]_e;$$



$$K^{**}_{ex} = [PbLA_2]_o/[PbL^{2+}]_e[A^-]_e^2;$$



$$K_{ex} = [PbLA_2]_o/[Pb^{2+}]_e[L]_o[A^-]_e^2;$$

$$\lg K_{ex} = \lg K^{**}_{ex} + \lg \beta_L - \lg P_L.$$

За умов проведення експерименту з урахуванням констант димеризації карбонових кислот (Rehman, Ali, Anwar, & Yawar, 2006) утворенням димерів можна знехтувати. Аналогічно в розбавлених розчинах можна знехтувати міжлігандною взаємодією, яка є причиною зниження екстракції при високих концентраціях кислот (Sung, Moorthy, Song, & Ha, 2014). При розрахунках приймали $\lg \beta_L = 4,27$ (Gagabe, Satoh, Satoh, & Sawada, 2006).

Задаючи експериментально отримані значення концентрацій Плюмбуму в водній та органічній фазах при відомих загальних концентраціях компонентів і рН, розраховували рівноважні концентрації компонентів в обох фазах. На основі отриманих значень рівноважних концентрацій, розраховували K^{**}_{ex} . Експеримент

проводили за умов, коли основна частина Плюмбуму, який знаходився у водній фазі, була зв'язана в комплекс з 18C6 (табл. 1, 2), що суттєво зменшує вплив похибки в значеннях P_L та β_L . В той же час дані, отримані в умовах, коли лише незначна частина Плюмбуму зв'язана в бінарний комплекс (табл. 3), також узгоджуються з іншими. Відповідно, прийняті значення P_L та β_L прийнятні в умовах нашого експерименту.

Таблиця 1. Визначення константи екстракції комплексу $Pb18C6(TXA)_2$; ($pK_{HA} = 0,66$)

pH	C _{18C6}	C _{Pb2+}	C _{ТХА-}	R, %	lgK ^{**} _{ex}	lgK ^{**} _{ex} (терм)
	моль/л					
1,18	2,0·10 ⁻⁴	1,0·10 ⁻⁴	0,02	44	4,18	4,57
			0,03	50	3,93	4,35
			0,10	87	3,73	4,40
			0,05	70	3,79	4,33
1,45	1,5·10 ⁻⁴		0,05	62	3,86	4,40
2,01	2,0·10 ⁻⁴		0,01	36	4,40	4,67
			0,02	56	4,17	4,56
			0,03	68	4,05	4,47
		0,04	75	3,95	4,43	
2,13	4,0·10 ⁻³	1,0·10 ⁻³	0,01	56	4,25	4,52
			0,02	82	4,18	4,57
			0,03	94	4,34	4,74
			0,05	95	4,14	4,67
lgK ^{**} _{ex} = 4,55 ± 0,01; lgK _{ex} = 8,02						

Таблиця 2. Визначення константи екстракції комплексу $Pb18C6(NO_3)_2$

C _{18C6}	C _{Pb2+}	C _{HNO3}	R, %	lgK ^{**} _{ex}	lgK ^{**} _{ex} (терм)
моль/л					
5,0·10 ⁻³	1,0·10 ⁻³	0,050	16,0	1,92	2,45
		0,073	22,5	1,77	2,37
		0,100	31,0	1,70	2,37
		0,120	31,4	1,58	2,34
		0,200	56,0	1,54	2,41
lgK ^{**} _{ex(терм)} = 2,35 ± 0,01; lgK _{ex} = 5,82					

Таблиця 3. Визначення константи екстракції комплексу $Pb18C6(BKK)_2$; ($pK_{HA}(CHCl_3) = 4,42$)

pH	C _{18C6}	C _{Pb2+}	C _{БKK} ·10 ³	R, %	lgK ^{**} _{ex}
	моль/л				
3,04	5,0·10 ⁻³	1,0·10 ⁻³	2	8	7,20
2,96			4	16,2	7,11
2,93			6	24,5	7,04
2,90			8	33,0	7,04
2,88			10	41,0	7,04

Продовження таблиці 3

2,88			12	50,0	7,04
2,86			16	66,0	7,12
2,88			20	78,0	7,18
2,00		1,0·10 ⁻⁴	50	40,0	7,25
2,24			50	67,0	7,26
2,59			50	83,0	7,01
$\lg K_{ex}^{**} = 7,10 \pm 0,08; \lg K_{ex(терм)}^{**} = 7,20; \lg K_{ex} = 10,67$					

Отримані таким чином концентраційні константи залежать від йонної сили. Раніше (Dukov, & Atanassova, 2003) було показано, що ця залежність при $\mu < 0,7$ задовільно описується рівнянням Девіс. Розраховані з урахуванням рівняння Девіс термодинамічні константи екстракції приведені в табл. 1—3.

Висновки

Досліджені екстракційно-аналітичні характеристики комплексів карбоксилатів металів з краун-етерами з метою підбору умов кількісної і разом з тим селективної екстракції цих комплексів для розробки методик вилучення та подальшого визначення відповідних металів в різних об'єктах. Запропоновані та проаналізовані методології визначення кількісних характеристик стійкості комплексів — констант стійкості, а в екстракційних системах — констант екстракції цих сполук, що є необхідним для передбачення можливості розробки таких методик. Встановлені кореляційні залежності між екстракційними властивостями краун-етерів та низкою параметрів, що впливають на процес екстракції.

Література

- Васильева М. Г., Горліченко М. Г., Шевченко С. В., Шепеліна С. І., Ганін Е. В. (2009). Особливості утворення комплексів «хазяїн—гість» краун-етерів з HN-протондонорними молекулами. *Вісник Одеського державного екологічного університету*, 08, 239—244.
- Назаренко А. Ю., Крониковский О. И., Сухан В. В. (1987). Экстракция карбоксилатов свинца в присутствии полиэфиров 18-краун-6 и ПЭГ-1500. *Журнал неорганической химии*, 32(9), 2233—2237.
- Сухан В. В., Крониковский О. И., Назаренко А. Ю. (1988). Аналитическое применение экстракции металлов 18-краун-6 в присутствии трихлорацетат-иона. *Журнал аналитической химии*, XLIV, (11), 1953—1958.
- Atanassova M., Dukov I. L. (2005). Crown ethers as synergistic agents in the solvent extraction of trivalent lanthanoids with thenoyltrifluoroacetone. *Separation Science and Technology*, 40, 1103—1113. DOI: 10.1081/SS-200049855.
- Bader Nabil, Bukhzam Ali (2014). Crown Ethers: Their Complexes and Analytical Applications. *Journal of Applicable Chemistry*, 3 (1), 237—244. <https://www.researchgate.net/publication/317398327>. Crown Ethers Their Complexes and Analytical Applications.
- Bond A. H., Dietz M. L., Chiarizia R. (2000). Incorporating size selectivity into synergistic solvent extraction: A review of crown ether—containing systems. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 39, 3442—3464. DOI: 10.1021/ie000356j.
- Dukov I. L., Atanassova M. (2003). Effect of diluents on the synergistic solvent extraction of some lanthanides with thenoyltrifluoroacetone and quaternary ammonium salt. *Hydrometallurgy*, 68, 89—96. DOI: 10.1016/S0304-386X(02)00171-8.
- Gagabe F. G., Satoh Y., Satoh K., Sawada K. (2006). Crown ethers as synergist in the 2-thenoyltrifluoroacetone extraction of lanthanoids in 1,2-dichloroethane. *Monatshefte fur Chemie, Chemical Monthly*, 137, 1015—1025. DOI: 10.1007/s00706-006-0503-3.

Hiraoka M. (1986). *Crown Compounds. Their Characteristics and Applications*. Amsterdam, Oxford, New York: Elsevier Scientific Publishing Company.

Lehn M., Atwood J. L., Davies J. E. D., MacNicol D. D., Wogtle F. (1996). *Comprehensive supramolecular chemistry*. Oxford — New York — Tokyo: Pergamon, 1—11.

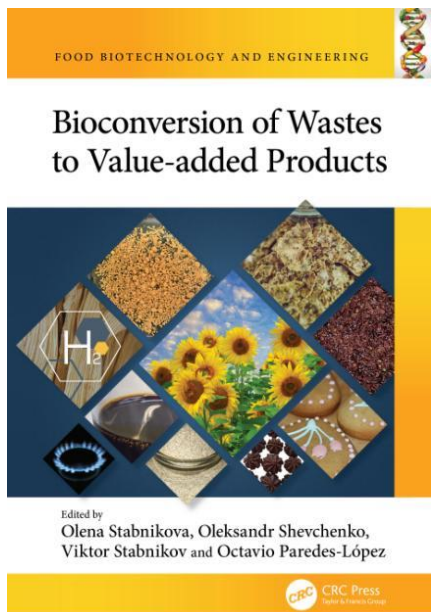
Pavithran, R., Varma, R. L., Reddy, M. L. P. (2003). Synergistic solvent extraction of trivalent lanthanoids with mixtures of 1-phenyl-3-methyl-4-pivaloyl-5-pyrazolone and crown ethers. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, 21, 797—813. DOI: 10.1081/SEI-120025924.

Rehman H., Ali A., Anwar J., & Yawar W. S. (2006). Synergistic extraction of Ce(III), Eu(III) and Tm(III) with a mixture of picrolonic acid and benzo-15-crown-5 in chloroform. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 267, 421—425. DOI: 10.1007/s10967-006-0065-1.

Soo Park Sung, Madhappan Santha Moorthy, Hyun-Jin Song, Chang-Sik Ha. (2014). Functionalized mesoporous silicas with crown ether moieties for selective adsorption of lithium ions in artificial sea water. *J. Nanosci Nanotechnol*, 14(11), 8845—8851. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25958615/>.

Vogtle F., Weber E. (1985). *Host Guest Complex Chemistry Macrocycles. Synthesis, Structures, Applications*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag.

Доробок українських науковців від видавництва CRC Press



Авторитетне міжнародне видавництво наукової літератури **CRC Press** Taylor & Francis group під керівництвом відомого біохіміка та дієтолога Октавіо Паредес-Лопеса видало книгу «**Bioconversion of Wastes to Value-added Products**», до якої увійшли дослідження українських учених.

Відходи сільськогосподарської продукції та харчової промисловості містять цінні речовини. Деякі з цих відходів можна використовувати як додаткове джерело важливих компонентів для підвищення харчової цінності традиційних харчових продуктів, інші можна перетворити на енергетичні матеріали, такі як спирт, біоетанол, водень і біогаз. Застосування різноманітних відходів сільського господарства та харчової промисловості для перетворення їх на цінні продукти має дві мети: системне й економічно доцільне використання наявного потенціалу корис-

них продуктів із непереробних відходів, а також розроблення екологічно чистих технологій, що захищають навколишнє середовище від потенційних забруднень.

Це видання охоплює застосування відходів, зокрема органічних, як добавок для підвищення харчової та біологічної цінності харчових продуктів, біоперетворення твердих і рідких відходів в енергію, таких як біогаз і водень, та біотрансформацію агропромислових і харчових відходів у біотехнологічні продукти.

Серед редакторів книги — ректор Національного університету харчових технологій, професор *Олександр Шевченко*, завідувач кафедри біотехнології і мікробіології, професор *Віктор Стабніков* та доцент кафедри біотехнології і мікробіології *Олена Стабнікова*.

У книзі описуються технологічні підходи до перетворення різних відходів на цінні продукти та демонструються реальні розробки у сфері утилізації відходів. Нові знання щодо сталого використання відходів будуть корисними здобувачам, викладачам, дослідникам та інженерам харчової промисловості й екологічної інженерії.

Детальна інформація про книгу — за посиланням:

<https://doi.org/10.1201/9781003329671>

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» запрошує вас до публікації наукових праць (<http://sw.nuft.edu.ua>).

До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Автор, який подає матеріали до друку, зберігає за собою всі авторські права та надає відповідному виданню право першої публікації, дозволяючи розповсюджувати матеріал із зазначенням авторства й джерела первинної публікації, а також погоджується на розміщення її електронної версії на сайті Національної бібліотеки ім. В. І. Вернадського та у відкритому доступі в електронній мережі університету. Автор надає право редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути видана лише одна стаття автора (як власна, так і в співавторстві).

На електронну адресу журналу (prnuht@ukr.net) необхідно надіслати такі документи:

- файл статті;
- рецензію доктора наук певної галузі (за тематичною спрямованістю статті). Якщо один із авторів статті є доктором наук, то рецензія необов'язкова;
- заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті подаються у вигляді вичитаних роздрукувань на папері формату A4 (поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word). У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані.

Обсяг дослідницької статті має бути не менше 10 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). У дослідницькій статті має бути проаналізовано не менше 15 джерел. Обсяг оглядової статті має бути не менше 25 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). В оглядовій статті повинно бути проаналізовано не менше 40 джерел.

ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ

1. Індекс УДК.
2. Назва статті (англійською та українською мовами).
3. Ініціали та прізвища авторів англійською та українською мовами.
4. Анотація англійською та українською мовами (не менше 1800 символів з пробілами). Анотація має бути максимально інформативною, це окремий текстовий документ, у якому лаконічно викладені результати дослідження. У тексті анотації не варто використовувати загальні фрази, вказувати несуттєві деталі й загальновідомі положення. Також слід уникати прямих повторів будь-яких фрагментів статті.
5. Ключові слова (5—6 слів/ключових словосполучень англійською та українською мовами).
6. Структура текстової частини:
 - постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями;
 - аналіз останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор;
 - формулювання мети статті;
 - викладення основних результатів дослідження;
 - висновки і перспективи подальших наукових досліджень.
7. Після тексту статті в алфавітному порядку наводиться список літературних. **Бібліографічні описи оформляються згідно з міжнародним стилем APA.** Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на наукові праці останніх років. Наприкінці кожної публікації наводиться ідентифікатор DOI у форматі <https://doi.org/.....>, якщо він є, або посилання на публікацію. Також слід обмежити посилання на власні публікації, оскільки це знижує наукову цінність статті та індекс цитування автора. Не можна посилатись на національні стандарти, технічні умови, підручники, конспекти лекцій, лабораторні практикуми та іншу ненаукову літературу. Посилання на патенти слід робити в тексті статті, вказавши лише номер та назву патенту.

У статті мають бути проаналізовані напрацювання вчених з усього світу. На основі аналізу сучасних статей з англомовних журналів має бути доведена актуальність теми у світі, визначені питання, які потребують вирішення, сформульована мета дослідження.

8. Таблиці (у Word або Excel) можна подавати як у тексті, так і в окремих файлах (на окремих сторінках). Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Слово «Таблиця» і номер друкуються курсивом, заголовок — напівжирним шрифтом. Таблиці повинні мати книжковий формат і вільно вміщатися у висоту і ширину журнальної сторінки.

9. Ілюстрації (креслення, рисунки, схеми, діаграми) мають бути розміщені в тексті. **Обов'язковою вимогою** є надсилання оригінальних файлів рисунків, створених у програмах-редакторах Corel Draw X6, Origin. Всі елементи рисунка (типи, товщина і колір ліній, шрифт текстів тощо) мають вільно редагуватися у наявному програмному забезпеченні). Рисунки в растрових форматах (bmp, gif, jpeg, tif) або у форматі pdf не приймаються до розгляду, оскільки не можуть вільно редагуватися. **Вимоги до оформлення рисунків:** вісь координат — 0,2 мм, без сітки, сам рисунок (наприклад, крива) — 0,35 мм, текст в рисунку — Times New Roman 9,5, ширина рисунка — до 13 см. Всі рисунки мають бути чорно-білими. Підписи до рисунків набираються безпосередньо під рисунками прямим напівжирним шрифтом.

Фотографії мають бути чіткими та контрастними (формати TIF, JPG з роздільною здатністю 300 dpi), розмірами 6×9. Фотографії друкуються в разі крайньої потреби, якщо наведена на них інформація має значну наукову цінність. Авторам краще завантажити фотографії у хмарний сервіс і в списку літератури дати на них посилання.

10. Математичні формули повинні бути роздруковані з правильним виділенням верхніх і нижніх індексів. Нумерація формул здійснюється арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки. Індеси від скорочених українських слів друкуються прямим шрифтом малими літерами. В індексах, що складаються з двох скорочених слів, після першого скороченого слова ставиться крапка, після другого — крапка не ставиться. Цифри в індексах також друкуються прямим шрифтом. Індеси, позначені латинськими літерами, друкуються курсивом. У формулах літери латинського алфавіту набираються курсивом, грецького й українського — прямим шрифтом.

Хімічні формули набираються прямим шрифтом. Математичні символи, що входять до складу хімічних формул, — курсивом.

Формули вставляються безпосередньо в текст. Прості формули набираються з клавіатури, а складні — за допомогою редактора формул Microsoft Equation 3.0 object або Math Type 5.6. Інші версії редакторів формул є неприйнятними. Символи вставляються тільки через таблицю символів. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

11. Відомості про авторів статті повинні бути наведені за єдиним зразком у вказаному порядку: прізвище (прописними літерами), ім'я та ім'я по батькові (повністю); наукове звання; посада чи професія, місце роботи; телефон, E-mail.

12. Дата надходження статті до редакції (після тексту надрукованого матеріалу).

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається**. Переклад має бути належної якості.

Відсутність будь-якого з пунктів переліку, зазначеного вище, рецензії, невідповідність вимогам до оформлення, наявність орфографічних, граматичних, стилістичних помилок, автоматичний переклад елементів матеріалу є підставою **для відмови** в прийнятті статті до друку.

Автор несе відповідальність за додержання вимог чинного законодавства при підготовці матеріалів, у тому числі норм авторського права і достовірність наведених фактичних даних (цитат, посилань, імен, назв тощо).

Адреса редакції:

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

Контактні телефони: міський — (044) 287-92-95, внутрішній — 92-95.
E-mail: npnuht@ukr.net

SUBMISSION GUIDELINES

Dear colleagues,

The editorial board of the Journal “Scientific works of the National University of Food Technologies” invites you to the publication of your manuscripts (<http://sw.nuft.edu.ua>).

Only the manuscripts that have not previously been published in print and electronic media are accepted. The author who submits materials for publication reserves the copyright and provides the right of first publication to the Journal, allows to distribute the manuscript indicating the authorship and the primary source of publication and agrees to placing the electronic version of the manuscript on the website of the V. I. Vernadsky National Library of Ukraine, publicly available electronic network of the University. The author gives the right to the editorial board to review and reject the material submitted for publication. The author can publish one manuscript (of his/her single authorship or co-authored) per every issue of the Journal.

The following documents are necessary to be sent to the e-mail address of the journal (npuht@ukr.net):

- Electronic version of the manuscript;
- A review of the manuscript by a doctorate of the corresponding branch of science. If one of the authors is a doctorate him/herself, then a review is not necessary;
- A statement signed by the author(s) that the manuscript has not been published and is not submitted for publication.

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