



2021

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 27 № 3

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

КИЇВ ✧ НУХТ ✧ 2021

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:

- 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 # 10 from 27th of May, 2021

© NUFT, 2021

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:

- 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 № 10 від 27 травня 2021 року

© НУХТ, 2021

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор

Editor-in-Chief

Олександр Шевченко

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

ЗМІСТ

Автоматизація та інформаційні технології

Ліманська Н. В., Грибков С. В. Удосконалення процесу планування ремонтно-профілактичних робіт

Луцька Н. М., Власенко Л. О., Ладанюк А. П. Проектування інтелектуальних автоматизованих систем керування технологічними процесами харчових виробництв засобами SysML. Частина 1: огляд діаграм SysML, розробка діаграми вимог

Біотехнології

Удимович В. М. Молочнокислі бактерії як продуценти уреаз

Харченко Є. І., Лазюка Ю. В., Скроцька О. І., Пенчук Ю. М. Отримання біогенних наночасток срібла з використанням дріжджів і перспективи їх застосування у протимікробній терапії

Економіка, менеджмент і маркетинг

Скопенко Н. С., Євсєєва-Северина І. В. Вплив пандемії COVID-19 на функціонування та розвиток українських підприємств

Страшинська Л. В., Шеремет О. О. Розвиток вітчизняного ринку м'яса та м'ясопродуктів: проблеми і пріоритети

Механічна та електрична інженерія

Зінкевич П. О., Балута С. М., Куєвда Ю. В. Порівняльний аналіз методів короткострокового прогнозування електричного навантаження на один крок вперед

Шевченко О. Ю., Соколенко А. І., Степанець О. І., Скуйбіда Є. Л. Визначення параметрів безударного вкладання вантажів

Фізико-математичні науки

Король А. М., Медвідь Н. В. Вольт-амперна характеристика надпровідної наноструктури з андріївським відбиванням, індукованим ферміонами Майорани

Харчові технології

Далєвська Д. Я., Покотило О. С. Зміна фізико-хімічних та органолептичних показників молока з біологічно активним йодом у процесі зберігання

Замай Ж. В., Гуменюк О. Л., Волкова Р. М., Хребтань О. Б., Цибуля С. Д., Пасов Г. В. Використання інноваційної сировини (кіноа, чорний кмин, кунжут) та її вплив на властивості пшеничного хліба

Матко С. В., Мельник Л. М. Дослідження технології буряково-яблучного соусу зі зниженою калорійністю

CONTENTS

Automation and Information Technologies

7 Limanska N., Hrybkov S. Analysis of the process of repair maintenance of technological equipment

15 Lutska N., Vlasenko L., Ladanyuk A. Design of intelligent automated control systems for technological processes of food production by SysML means. Part 1: overview of SysML diagrams, development of requirement diagrams

Biotechnologies

25 Udymovych V. Lactic acid bacteria as producers of urease

32 Kharchenko Y., Laziuka Y., Skrotska O., Penchuk Yu. Obtaining biogenic silver nanoparticles using yeast and prospects for their application in antimicrobial therapy

Economy, Management and Marketing

43 Skopenko N., Yevsieieva-Severyna I. Impact of the COVID-19 pandemic on the functioning and development of Ukrainian enterprises

53 Strashynska L., Sheremet O. Development of the domestic meat and meat products market: problems and priorities

Mechanical and Electrical Engineering

62 Zinkevych P., Baluta S., Kuievda Iu. Comparative analysis of methods of short-term electric load forecasting one step forward

77 Shevchenko O., Sokolenko A., Stepanets O., Skuybida E. Determination of parameters of laying of cargoes without smite

Physical and Mathematical Sciences

88 Korol A., Medvid' N. Volt-ampere characteristic of the superconductive nanostructure with the andreev reflection induced by the Majorana fermions

Food Technologies

96 Dalievskaya D., Pokotylo O. Change of physico-chemical and organoleptic parameters of milk with biologically active iodine during storage

103 Zamai Zh., Gumeniuk O., Volkova R., Hrebtan O., Tsybulia S., Pasov G. Use of innovative raw materials (quinoa, black cumin, sesame) and their impact on the properties of wheat bread

112 Matko S., Melnyk L. The research of the technology of beet-apple sauce with reduced calories

- Демидова А. О., Носенко Т. Т., Левчук І. В. Вплив окремих стадій рафінування на вміст MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу в дезодорованих оліях і методи його зменшення
- Сімахіна Г. О. Критерії придатності плодово-ягідної сировини до заморожування та їх практична реалізація
- Маринченко В. О., Бабич І. М., Османова Е. Ш., Маринченко Л. В. Застосування процесу термовініфікації у виробництві червоних сухих вин типу «резерв»
- Попова Н. В., Мисюра Т. Г. Дослідження якості та оптимізація компонентного складу збагаченої начинки сирка в білковій глазурі
- Шемет В. Я., Гулай О. І., Мороз І. А. Фізико-хімічні аспекти молекулярної гастрономії
- Дробот В. І., Шевченко А. О. Вплив продуктів переробки гарбуза на структурно-механічні властивості тіста та якість хліба
- Хомич Г. П., Наконечна Ю. Г., Галушинський Є. М. Використання борошна чуфи в технології виготовлення мафінів
- Хімічні науки**
- Кроніковський О. І., Терецук Д. О., Кроніковська О. П., Стаднічук Н. О. Комплексоутворення та екстракція тризарядних катіонів металів у присутності краун-етерів і трихлор-ацетатної кислоти
- 122 Demydova A., Nosenko T., Levchuk I. Influence of fat refining stages on the content of MCPD-esters and glycidyl esters in deodorated oils and methods of reducing their concentration
- 134 Simakhina G. The criteria of fruit and berry raw materials' suitability for freezing and their practical realization
- 144 Marinchenko V., Babich I., Osmanova E. Marynchenko L. Application of thermovinification process in the production of red dry wines of type "Reserve"
- 153 Popova N., Mysiura T. Research of quality and optimization of component composition of enriched cheese filling in protein glaze
- 163 Shemet V., Hulai O., Moroz I. Physicochemical aspects of molecular gastronomy
- 172 Drobot V., Shevchenko A. Influence of pumpkin processing products on structural and mechanical properties of dough and bread quality
- 181 Khomich G., Nakonechna Y., Galushinsky E. The use of chufa flour in muffin making technology
- Chemical Sciences**
- 192 Kronikovskii O., Terechuk D., Kronikovska O., Stadnichuk N. Complex formation and extraction of three-charged metal cations in the presence of crown ethers and trichloroacetic acid

ANALYSIS OF THE PROCESS OF REPAIR MAINTENANCE OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

N. Limanska, S. Hrybkov

National University of Food Technologies

Key words:

*Repair works
Petri nets
Bakery
Production line
CPN Tools*

Article history:

Received 03.05.2021
Received in revised form
17.05.2021
Accepted 26.05.2021

Corresponding author:

S. Hrybkov
E-mail:
sergio_nuft@i.ua

ABSTRACT

The article investigates and analyzes the methods of using Petri nets to form and assess the performance of the technical equipment of the technological line of the bakery. To analyze the adequacy of the selected modification of the Petri net, a model of the technological system based on the operation of a typical production line was built.

It is advisable to assess the state of real production systems for the effective operation of process control systems with incomplete knowledge of their parameters and support safe operation in various production and technological situations. The existing repair prevention strategy orients repair services and management bodies to the predominance of repair prevention operations. But these measures are complicated by the different service life of the same type of parts and the processes that begin after the replacement of parts and components, lead to accelerated wear and redistribution of loads between newly installed and old parts. Multiple occurrences of failures, reduction of service life concerning primary as a result give not always unambiguous effect. This often leads to increased production costs, reducing equipment uptime, increasing the risk of hidden failures due to installation errors. There is a dependence of the number of means to eliminate the breakdown of the equipment element on the speed of damage detection, because each replacement of parts and assemblies must be justified by the technical condition and carried out comprehensively to effectively restore the working condition of the mechanism.

For the practical implementation of the analysis of the work process, a simulation model of the typical technological lines of the bakery, which allows an objective assessment of the need to replace parts of equipment and the possibility of such activities without downtime.

As a result of research it is possible to conclude that application of Petri nets provides development of the formalized functional model and allows its further analysis with use of the full-scale simulator.

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛАНУВАННЯ РЕМОНТНО-ПРОФІЛАКТИЧНИХ РОБІТ

Н. В. Ліманська, С. В. Грибков

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено та проаналізовано методи використання мереж Петрі для оцінки роботоспроможності технічного обладнання технологічної лінії хлібокомбінату. Для аналізу адекватності обраної модифікації мережі Петрі була побудована модель технологічної системи на основі роботи типової виробничої лінії.

Зазначено, що для ефективного функціонування систем управління процесами з неповнотою знань про їх параметри і підтримки безпечної роботи в різних виробничо-технологічних ситуаціях доцільно забезпечити оцінку станів реальних виробничих систем. Існуюча стратегія запобігання ремонтів орієнтує ремонтні служби та органи управління на переважання операцій, які б запобігали ремонтам. Але ці заходи ускладнюються різним терміном служби однотипних деталей і процеси, що починаються після заміни деталей і вузлів, призводять до прискореного зносу і перерозподілу навантажень між знову встановленими та старими деталями. Множинні виникнення відмов, зниження строку служби відносно первинного в результаті дають не завжди однозначний ефект. Це часто призводить до підвищення витрат виробництва, знижуючи час роботи устаткування, підвищення ризику появи прихованих відмов через помилки монтажу. Спостерігається залежність кількості засобів на ліквідацію поломки елемента устаткування від швидкості виявлення ушкодження, адже кожна заміна деталей і вузлів має бути обґрунтована технічним станом і проводитися комплексно для ефективного відновлення працездатного стану механізму.

Для практичної реалізації аналізу робочого процесу розроблено імітаційну модель роботи типової технологічної лінії хлібокомбінату, що дає змогу об'єктивно оцінити потребу в заміні частин устаткування та можливість проведення таких заходів без простоїв виробництва.

У результаті апробації підтверджено ефективність використання застосування мереж Петрі для створення формалізованої функціональної моделі процесів, також передбачається подальший її аналіз з використанням повномасштабного тренажера.

Ключові слова: ремонтні роботи, мережі Петрі, хлібокомбінат, виробнича лінія, CPN Tools.

Постановка проблеми. Одним з головних завдань хлібопекарської галузі України, як однієї з висококоханізованих індустрій нашої країни, є забезпечення громадян якісною та свіжою хлібопекарською продукцією. Для більшості частини населення України чи не найважливішими продуктами є вироби хлібопекарської промисловості. Попит на них не залежить від соціального статусу чи рівня доходу громадян, але в той же час вподобання на певний асортимент впливає на розміри споживчого ринку хлібобулочних виробів.

Для отримання хлібопекарським підприємством такого прибутку, який забезпечить стабільну роботу хлібокомбінату, важливим є подальший розвиток ринку хлібопекарських виробів при покращенні забезпечення населення якісною випічкою за припустимою ціною. Адже збільшення кількості устаткування або покращення вже встановленого обладнання залежить від рівня продажу хлібобулочних виробів.

Відмови в складних технічних системах ідентифікується за правилами, які не завжди лежать в рамках безпосередньої оцінки спроможності системи виконувати передбачені основні функції. Інколи у разі відмови критерії нечіткі та розпливчасті, призводять до неузгодженості в оцінці їхнього стану при експлуатації. Дорогий запас працездатності складних технічних систем, що закладається на етапі її проектування, подекуди уповільнює ідентифікацію відмови стійкості системи до ушкоджень окремих елементів.

У цілому система може відмовити також через відсутність унікальних елементів, ушкодження яких негайно виводить з ладу устаткування. Останнє особливо вражає системи з регулярною структурою, такі як розстойно-пічний агрегат, тунельна піч або інші елементи технологічної лінії. Особливо гостро постає ця проблема при прогнозуванні працездатності складних технічних систем. Тут може допомогти адекватна імітаційна модель, за якою можна зробити висновок про роботоспроможність об'єкта.

Інформація про поломки та ушкодження дасть змогу провести діагностику стану складних технічних систем і зробити достовірний прогноз її подальшої експлуатації з урахуванням запасу працездатності деталі, взаємозамінності елементів, кореляцію між подібними ушкодженнями та відмовою тощо.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Суттєвою особливістю великого класу сучасних технологічних процесів є наявність невизначеності параметрів їх функціонування, що пояснюється відсутністю або неповнотою знань про параметри процесу, що відбуваються у реальних виробничих системах, і складним характером їх впливу.

На підставі інформації про стан обладнання та параметри технологічного процесу робиться висновок про сформовану ситуацію, після чого виконуються відповідні експлуатаційні процедури (Chernyaev, Alontseva & Anokhin, 2017).

Процес обслуговування технологічного обладнання ремонтним відділом хлібопекарського підприємства є складним технічним процесом, на який впливають випадкові фактори, що ускладнюють прийняття рішення на управлінському рівні.

Імітаційна модель функціонує синхронно з об'єктом моделювання. Перед вибором рішення диспетчер прогнозує його наслідки, прискорюючи імітаційне моделювання, а потім повертається до реального часу (Конюх, 2008).

Можливість обліку випадкових факторів і складних залежностей від них забезпечується використанням методології імітаційного моделювання. Одним з перспективних варіантів формального опису та аналізу імітаційних моделей є використання методології мереж Петрі (Наумов, 2009).

Метою статті є удосконалення процесу планування ремонтно-профілактичних робіт підприємства хлібопекарської промисловості.

Матеріали і методи. У статті проведено оцінювання роботоспроможності технічного устаткування хлібокомбінату.

Аналіз джерел дав підстави вважати доцільним використати методологію мереж Петрі як один з варіантів застосовування імітаційного моделювання для обліку й аналізу випадкових факторів. Безперечним плюсом мереж Петрі є можливість адекватного представлення не тільки структури складних організаційно-технологічних систем і комплексів, а й логіко-часових нюансів процесів їх функціонування. Існуючі підходи до прийняття рішень дають змогу вирішувати досить вузьке коло завдань без вираховування більшості параметрів, які обумовлюють ефективність технічного процесу, обґрунтовують необхідність програмної розробки моделей підтримки прийняття рішень.

Отримана при моделюванні роботи ремонтного відділу інформація про стан системи в різні моменти часу використовується для декількох статистичних оцінок числових характеристик: математичне сподівання, дисперсія та кореляційні моменти. Роль оперативно-виробничого планування полягає у забезпеченні чіткої і безперебійної роботи підприємства харчової промисловості при найбільш ефективному використанні виробничих ресурсів.

Результати і обговорення. Ремонтний відділ підприємства можна розглядати як складну технічну систему, адже частини системи відновлюються в процесі експлуатації тільки шляхом заміни. Основним з методів технічного обслуговування складної технічної системи є прогнозування відмов, коли під час технічного обслуговування проводиться контроль стану ресурсу та забезпечується подовження робочого стану його компонентів, тобто контроль готовності, діагностичний контроль і профілактичні ремонтні роботи.

Профілактичні ремонтні роботи поділяються за об'ємом робіт і проводяться з метою підтримання технічної системи в робочому стані та запобігання відмовам її ресурсів. Ефективність системи технічного огляду і ремонту значною мірою залежить від застосованої стратегії обслуговування. Розрізняють такі стратегії технічного обслуговування: за технічним станом; за напрацюванням (вироблено-му ресурсу); за календарним терміном (Пашко, 2011).

Стратегії обслуговування за технічним станом об'єкта експлуатації залежать від технічного стану і до появи відмови не проводяться. Після усунення відмови проводиться весь комплекс технічного обслуговування, яке передбачене інструкцією з експлуатації. Стратегію технічного обслуговування за напрацюванням застосовують для складних технічних систем, в яких тенденція зростання інтенсивності відмов збільшується після певного строку роботи ресурсів. Стратегія технічного обслуговування за календарним терміном передбачає проведення ремонтних робіт у чітко визначені календарні строки і є планово-попереджувальною. Ця система організації технічного обслуговування застосовується на об'єктах експлуатації, в роботі яких відбуваються раптові відмови.

Забезпечити раціональний обсяг робіт з технічного обслуговування може тільки достовірний прогноз, оскільки технічно й економічно раціонально обслуговувати тільки ті ресурси системи, які повинні відмовити в найближчий час.

Вибір складу функціональних завдань функціональних систем управління хлібокомбінатом здійснюється з урахуванням основних фаз управління: планування; обліку, контролю й аналізу; регулювання (виконання) (Пашко, 2011).

Планування забезпечує формування перспективних і оперативних планів, відповідно до яких буде організоване функціонування об'єкта управління. Облік, контроль і аналіз забезпечує одержання даних про стан системи за певний проміжок часу, визначення факту та причини відхилення фактичного стану об'єкта управління від його планового стану, а також виявлення розмірів цього відхилення. Регулювання (виконання) забезпечує порівняння планових і фактичних показників функціонування об'єкта управління й реалізацію необхідних керуючих впливів за наявності відхилень від запланованих у певному діапазоні.

Завданням оперативного управління виробництвом є:

- деталізація і розподіл виробничої програми та інших показників планів підприємства за місцем і часом їх виконання;
- розробка прогресивних календарно-планових нормативів;
- складання графіків руху предметів праці в часі і просторі;
- координація роботи цехів, дільниць, бригад, робочих місць;
- контроль за ходом виробництва;
- проведення ремонтних робіт;
- складання графіка планово-профілактичних ремонтних робіт (враховуючи потреби в лінії ремонті, розподіл ліній по асортиментах, час нагрівання та остигання печі, збитки на простої лінії).

Метод безперервного нагляду та контролю за станом виробничого обладнання повинен базуватися на календарних планах і використовувати технічні засоби для обміну й аналізу інформації.

Система управління технологічними процесами повинна забезпечувати регулювання параметрів, програмне керування, логічне управління обладнанням і циклічними процесами, контроль правильності введення-виведення даних, їх перетворення із здійсненням функцій сигналізації, індикації та реєстрації.

Щоб зменшити втрати виробництва хлібопекарської продукції, варто проаналізувати виробничу ситуацію та розробити структуру аналізу виробничої ситуації, до якої належать:

- стан технологічного обладнання;
- область допустимих і запланованих станів обладнання;
- стан робочих ресурсів;
- область можливих станів і прогноз функціонування обладнання.

Використовуючи мережі Петрі як апарата моделювання, в спеціальному моделюючому середовищі CPN Tools побудовано імітаційну модель роботи типової технологічної лінії хлібокомбінату (рис. 1). Середовище CPN Tools використано як найбільш універсальний метод формалізації моделей, що застосовувалося для розробки великої кількості реальних проектів, в тому числі для хлібопекарної галузі.

У моделі після генерації заявки, з приймального бункера відбувається забір декількох інгредієнтів, замішування та дозування тіста, яке після відлежування (протягом заданого часу) потрапляє до ділильно-розгортальної машини. Після нарізки тіста заготовки, що не потрапили до браку, відправляються до відстійної шафи. Наступним, після посадки тіста, відбувається процес випікання та відлежування (охолодження) вже готової продукції. Після пакувального апарата продукція з бракованою упаковкою повертається на переупакування. На останньому кроці здійснюється накопичення заявок, що були обслужені.

Імітована лінія хлібокомбінату складається з такої множини вузлів: приймального бункера з просіювачем (receiving hopper), тістомісильної машини періодичної дії для замісу закваски (period mixing machine), дозувальної станції (dosing station), тістомісильної машини (mixing machine), столу для відлежування тіста (storage table), машини для формування заготовок майбутніх виробів (divid/rolling machine), шафи для відстоювання тіста (proofing box), тунельної печі (tunnel oven), циркуляційного столу для охолодження виробів (circular table) та пакувального апарата (packing). Множина переходів забезпечує такі операції: ініціалізація роботи моделі (init work), забір інгредієнтів, необхідних за рецептурою (intake of ingredients), замішування (kneading dough) та дозування (dosage) тіста, відлежування тіста (staying), формування заготовок шляхом нарізки (dough divider), перебування тіста у відстійній шафі (proofing dough), випікання (baking) та охолодження готової продукції після випічки (waiting for packing), пакування продукції та перепакування після виявлених дефектів обгортки (packing). Побудована імітаційна модель починає роботу з генерації заявки (application generation) та накопичує заявки, які надають інформацію про дефекти заготовок тіста (defective) та успішно укомплектовану вироблену продукцію (report).

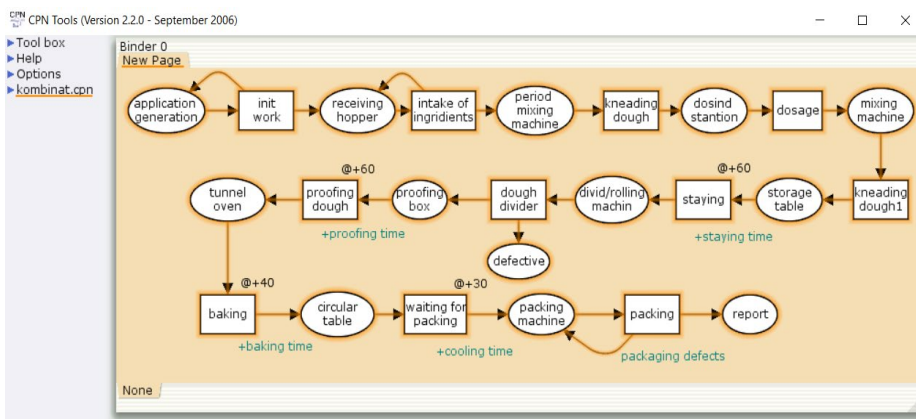


Рис. 1. Імітаційна модель роботи типової технологічної ліній хлібокомбінату, побудована в середовищі CPN Tools

Запропонована модель дає змогу реально оцінити робочий процес технологічного обладнання, в результаті чого можна зробити висновки про надійність роботи устаткування для зменшення простоїв виробництва і забезпечення виконання робочих графіків. Після побудови моделі процесу виготовлення продукції виробничою лінією в CPN Tools, мережа знаходиться в «живому стані», вона не є тупиковою, тобто може виконуватись нескінченну кількість разів, і після виконання повертатися на свою початкову позицію.

Виконання монтажних робіт повинно здійснюватися на етапі впровадження нової техніки, прогресивної технології й організації праці. Однією з прогресивних форм організації праці на монтажних роботах є створення комплексних бригад, які своїми силами здійснюють весь комплекс робіт з монтажу обладнання різної складності.

Відновлення експлуатаційних показників обладнання, що зменшилися в результаті зношуваності деталей, здійснюється шляхом ретельного догляду, систематичного огляду, проведення поточного та капітального ремонтів із заміною зношених деталей і відповідної наладкою обладнання (Яцков & Романов, 2006).

Технічне устаткування за весь період робочого циклу характеризується трьома фазами експлуатації: припрацювання ($0 < t < t_1$), нормальна експлуатація або напрацювання ($t_1 < t < t_2$) та старіння або знос ($t > t^2$) (рис. 2).

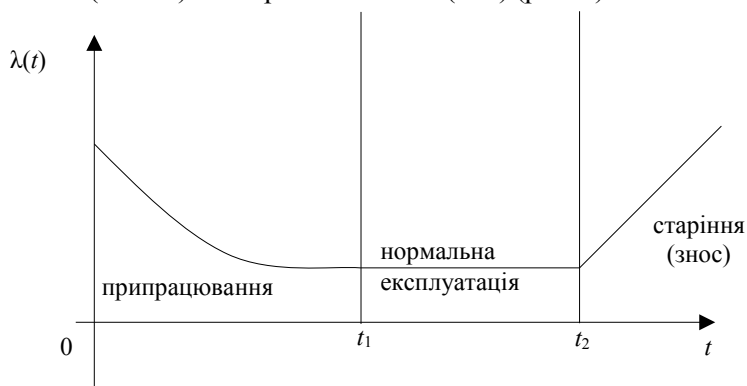


Рис. 2. Залежність інтенсивності відмов від часу роботи устаткування

Період припрацювання характеризується високою інтенсивністю відмов, викликаних відхиленням від вимог конструкторсько-технологічної документації, що розподіляються за законом розподілу Вейбулла й усуваються за рахунок введення технологічного припрацювання («технологічного прогону»).

Період нормальної експлуатації характеризується мінімальною і постійною інтенсивністю відмов. Ці відмови називаються раптовими, мають випадковий характер і розподіляються, як правило, за експоненціальним законом розподілу.

Період старіння або зносу характеризується різким збільшенням інтенсивності зносових відмов, що розподіляються за нормальним законом розподілу (законом Гаусса) (Васілевський & Поджаренко, 2010).

Як видно з рис. 2, інтенсивність відмов на першому періоді монотонно зменшується, на другому — залишається приблизно однаковою, а далі інтенсивність відмов постійно зростає (Васілевський & Поджаренко, 2010).

Величина припрацювання істотно не впливає на результати розрахунків, тому нею можна знехтувати. За функцію апроксимації зносу деталі доцільно приймати функцію:

$$U(t) = m_v t^a + U_1,$$

де $U(t)$ — середня величина зносу; m_v — середнє значення показника швидкості зміни величини старіння; t — напрацювання; a — показник степеня; U_1 — величина припрацювання.

Критеріями при визначенні оптимальних допустимих відхилень параметрів, тобто рішення про можливість використання деталі без її відновлення або заміни, можуть бути: мінімум питомих витрат на одиницю напрацювання обладнання, максимальна ймовірність безвідмовної роботи елемента, максимальний строк його служби тощо (Лисенко & Мартыненко, 2012).

Проведення імітаційних експериментів з моделлю дасть змогу також оцінювати вплив зміни параметрів проходження технологічного процесу для прийняття адекватних управлінських рішень керівництвом підприємства і досягнення оптимальних показників виробництва.

Проведення експериментів з використанням моделі позбавляє від необхідності проведення експериментів у реальному житті і не заважає роботі виробництва.

Висновки

Розроблена імітаційна модель визначає максимально можливий рівень випуску продукції при новому технічному оснащенні й організації управління виробничими процесами. Її використання дасть змогу перевірити ефективність впровадження нового обладнання на підприємстві без зайвих витрат на придбання обладнання.

Проведення імітаційних експериментів з моделлю дасть змогу також оцінювати вплив зміни параметрів проходження технологічного процесу для прийняття адекватних управлінських рішень керівництвом підприємства і досягнення оптимальних показників виробництва.

Проведення експериментів з використанням моделі позбавляє від необхідності проведення експериментів у реальному житті і не заважає роботі виробництва.

Література

Васілевський, О. М., Поджаренко, В. О. (2010). *Нормування показників надійності технічних засобів*. Вінниця: ВНТУ.

Лисенко, С. В., Мартыненко, А. Д. (2012). Визначення граничних і допустимих розмірів деталей при ремонті варіаторів комбайнів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві»*, 122, 49—55.

Яцков, А. Д., Романов, А. А. (2006). *Диагностика, монтаж и ремонт технологического оборудования пищевых производств : учебное пособие*. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та.

Chernyaev, A., Alontseva, E., Anokhin, A. (2017). *Application of Petri nets for formalization of NPP I&C functional design*, Proceedings of the International Symposium on Future I&C for Nuclear Power Plants: ISOFC 2017. Gyeongju, Korea.

Конюх, В. Л. (2008). Имитационное моделирование динамики автоматизированного производства. *Автоматизация в промышленности*.

Наумов, В. С. (2009). Использование сетей Петри при моделировании процесса транспортно-экспедиционного обслуживания. *Журнал «Автомобильный транспорт» ХНАДУ*, 24, 120—124.

Пашко, П. В. (2011). *Митні інформаційні технології: навч. посіб.* Київ: Знання.

Кузьмук, В. В., Супруненко, О. О., Парнюк, А. М. (2011). Класифікація мереж Петрі та приклади їх застосування для розв'язання прикладних задач. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 2/9(50), 40—43.

Карпов, Ю. Г. (2005). *Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование AnyLogic 5.0*. СПб.: БХВ-Петербург.

Гергенов, А. С. (2005). *Информационные технологии в управлении*. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ.

Zaitsev, D. A. (2004). Switched LAN Simulation by Colored Petri Nets. *Mathematics and Computers in Simulation*, 65(3), 245—249.

DESIGN OF INTELLIGENT AUTOMATED CONTROL SYSTEMS FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES OF FOOD PRODUCTION BY SYSML MEANS. PART 1: OVERVIEW OF SYSML DIAGRAMS, DEVELOPMENT OF REQUIREMENT DIAGRAMS

N. Lutska, L. Vlasenko, A. Ladanyuk
National University of Food Technologies

Key words:

*Intelligent automated
control system
Technological process
Methodology
SysML
Design
Diagram
Requirement*

Article history:

Received 20.04.2021
Received in revised form
30.04.2021
Accepted 10.05.2021

Corresponding author:

L. Vlasenko
E-mail:
vlasenko.lidia1@
gmail.com

ABSTRACT

The work considers the existing standards for the design of intelligent automated process control systems. It is shown that taking into account the intellectual component in the system it is necessary to use modern methodologies of analysis and design. SysML methodology is a tool that supports the object-oriented approach.

The aim of the work was to highlight the design features of intelligent automated process control systems according to the SysML methodology. SysML is an extension of the UML methodology that supports the object-oriented approach and consists of nine diagrams. Objects in the system being designed may be hardware and/or software of an intelligent automated system, as well as technological, electrotechnical and other components of production. Also in the project it is possible to allocate some Views on the SysML model with the corresponding Viewpoints and Stakeholders interested parties.

Features of structural and behavioral diagrams of SysML, as well as their development process on system elements were highlighted. The diagram of requirements for the task of production monitoring was considered separately. This diagram consists of blocks of requirements that are hierarchically divided into sub-blocks, each of which, in addition to textual requirements, has a label to trace on other schemes of the project. Decomposition of requirements provides connection of the requirement of the lower level with a hardware or software element of system and a choice of a rational variant for project realization.

The presented diagram, due to the developed semantic relations, showed the relationships and interactions of the general and clarifying requirements, which provided a combination of hardware and software of the system. In this way, the requirements diagram was an integral part of the project development, as its blocks ensured the tracing of system requirements within the project on all diagrams.

ПРОЄКТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ ЗАСОБАМИ SYSML. ЧАСТИНА 1: ОГЛЯД ДІАГРАМ SYSML, РОЗРОБКА ДІАГРАМИ ВИМОГ

Н. М. Луцька, Л. О. Власенко, А. П. Ладанюк

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто існуючі стандарти на проєктування інтелектуальних автоматизованих систем керування технологічними процесами. Показано, що, зважаючи на інтелектуальну складову в системі, необхідно використовувати сучасні методології аналізу та проєктування. Таким засобом, що підтримує об'єктно-орієнтований підхід, є методологія SysML.

Висвітлено особливості проєктування інтелектуальних автоматизованих систем керування технологічними процесами згідно з методологією SysML. SysML є розширенням методології UML, що підтримує об'єктний підхід і складається з дев'яти діаграм. Об'єктами в системі, що проєктується, можуть бути апаратне та/або програмне забезпечення інтелектуальної автоматизованої системи, а також технологічна, електротехнічна та інша складові виробництва. Крім того, у проєкті можна виділити декілька поглядів View на модель SysML з відповідними точками зору Viewpoints та зацікавленими сторонами Stakeholders.

Проаналізовано особливості структурних і поведінкових діаграм SysML, а також процес їх розробки на елементах системи. Окремо розглянуто діаграму вимог для задачі моніторингу виробництва, яка складається з блоків вимог, що ієрархічно поділені на підблоки, кожна з яких, окрім текстових вимог, має мітку для прослідковування на інших схемах проєкту. Декомпозиція вимог забезпечує зв'язок вимоги нижнього рівня з апаратним або програмним елементом системи та вибір раціонального варіанта для реалізації проєкту.

Представлена діаграма за рахунок розроблених семантичних відношень показує взаємозв'язки та взаємовпливи загальних та уточнюючих вимог, що забезпечує поєднання апаратного й програмного забезпечення системи. Діаграма вимог є невід'ємною головною частиною розроблення проєкту, оскільки її блоки забезпечують трасування вимог до системи в межах проєкту на всіх діаграмах.

Ключові слова: інтелектуальна автоматизована система керування, технологічний процес, методологія, SysML, проєктування, діаграма, вимога.

Постановка проблеми. Сьогодні для забезпечення високоякісних автоматизованих систем керування технологічними об'єктами ефективним є використання систем підтримки прийняття рішення, основу якого складає моніторинг стану,

обладнання й технічних засобів автоматизації (ТЗА). Сучасна система моніторингу будь-якого рівня підприємства повинна володіти інтелектуальними технологіями обробки, прогнозування та візуалізації потрібної інформації. Процес керування складним технологічним об'єктом (технологічним процесом, агрегатом, комплексом) здійснюється в умовах невизначеностей за допомогою ієрархічної структури прийняття рішень та формування керувальних дій. Якість керування оцінюється на верхніх рівнях за допомогою систем моніторингу, а нижній рівень — «об'єкт-регулятор», забезпечує допустимі витрати необхідних матеріальних та енергетичних ресурсів.

При функціонуванні технологічного об'єкта можуть виникати непередбачувані ситуації. За таких обставин ефективність автоматизованої інтелектуальної системи керування (ІАСК) залежить від її рівня інтелектуальності, зокрема здатності до самоорганізації (адаптивності) та використання сучасних методів — робастності, оптимальності, урахування прогнозів, прецедентів тощо. У свою чергу, рівень інтелектуальності визначається глибиною використовуваних даних, правил, знань, інструментарію технології обробки інформації та інтелектуальних обчислень.

Аналіз сучасного стану автоматизованих систем керування виробництвом і роль інтелектуальних систем у ньому передбачає необхідність класифікації задач проєктування за цілями з урахуванням рівнів керування. В статті пропонується два напрямки проєктування автоматизованих інтелектуальних систем керування — інтелектуальна система підтримки прийняття рішення та ІАСК (Vassilyev, Novikov, Bakhtadze, 2013). До першої групи задач відносяться: моніторинг виробництва, ТП, обладнання та ТЗА; ситуаційне керування; діагностика підсистем (Zaес, Vlasenko, Lutska, Usenko, 2019) тощо. До другої групи належать задачі автоматизованого керування складними об'єктами або комплексами в умовах невизначеності. Особливістю першої групи є проєктування задач на основі існуючої системи регулювання, тоді як друга група задач вимагає реконфігурації нижнього виконавчого рівня керування.

ІАСК можна поділити на три взаємозв'язані та однаково важливі складові — це апаратна, програмна, інформаційна. Перша складова відповідає на запитання, де виконується функція керування (моніторингу), друга — яким чином отримується керуюча дія (перетворення та представлення), остання — яка саме інформація та звідки бере участь у формуванні керуючого сигналу (результуючого рішення). Отже, реконфігурація ІАСК може здійснюватися лише за однією вказаною складовою або за всіма. Враховуючи складність розробки ІАСК для конкретних ТП, а також її взаємодію в інформаційному середовищі всього підприємства, необхідний досконалий інструмент для її проєктування. Таким інструментом може бути засіб моделювання системної інженерії SysML, направлений на інженерні розробки, значну частину яких складає програмне забезпечення (Barbieri, Kernschmidt, Fantuzzi & Vogel-Heuser, 2014).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При проєктуванні ІАСК доцільно використати методи та підходи з різних галузей, зокрема автоматизації ТП (Когобічук, Ladanyuk, Vlasenko & Zaiets, 2018), інформаційних технологій, аналізу

даних, інтелектуальних систем (Vassilyev, Kelina, Kudinov & Pashchenko, 2017), оцінки надійності системи (Cauffriez, Ciccotelli & Congard, 2004) та стійкості інтелектуальних систем (Giret, Trentesaux, Salido, Garcia & Adam, 2017) та ін.

Традиційним стандартом на проектування автоматизованих систем є ГОСТ 34.601-90 та ГОСТ 34.201-89, що описує життєвий цикл та комплект документів створення проектної документації на АСУ (рис. 1). Ці стандарти на сьогодні є застарілими, оскільки частка інформаційного та програмного забезпечення в них мала та не описує всіх взаємозв'язків та дій, що функціонують у сучасній автоматизованій системі. Сучасні стандарти та рекомендації на проектування інформаційних систем, що публікуються організаціями IEEE Std 1076-2008, ISO/IEC/IEEE 15288:2015, ISO/IEC/IEEE 12207:2017, ISO/IEC/IEEE 16326:2019 SEI (2021), OMG (2021), навпаки, здебільшого концентрують увагу на інформаційному та програмному забезпеченні і недосконало описують технічний аспект автоматизованої системи. Не слід забувати, що сучасні ІАСК також використовують технології інтелектуального аналізу даних (data mining) (Ruan, Chen, Kerre, Wets, 2005), що теж мають свої стандарти — CWM, CRISP, PMML та інші (OMG, 2021).

Тож сьогодні важливо визначити, який систематизований підхід застосувати при проектуванні ІАСУ технологічним процесом або комплексом. Одним із рішень, що оперує міждисциплінарними знаннями, є застосування підходів системної інженерії. Зокрема, використати об'єктно-орієнтовану методологію проектування SysML згідно з ISO/IEC/IEEE 42010:201. В рамках цієї методології заявлено підтримання специфікацій, аналіз, проектування, верифікація та валідація широкого спектра систем, включаючи апаратне, програмне та інформаційне забезпечення, процеси, персонал та засоби.

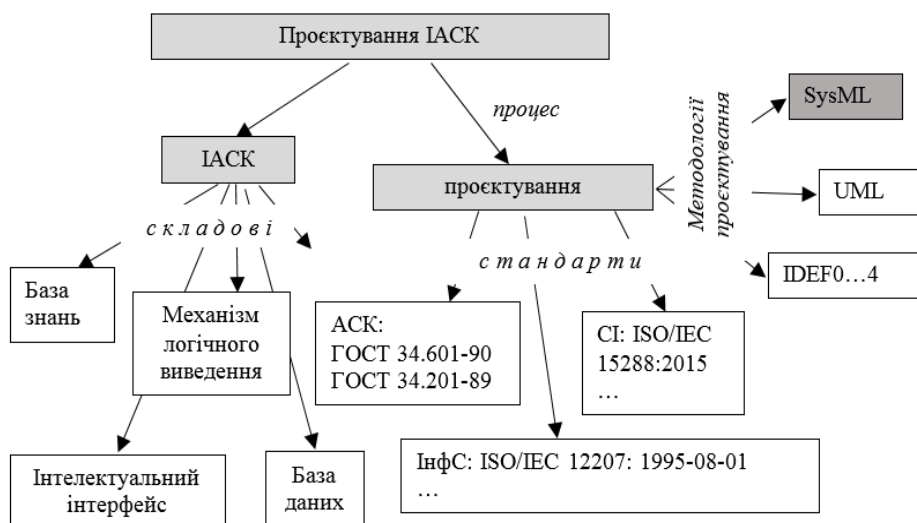


Рис. 1. Сучасна концепція проектування ІАСК

Метою статті є висвітлення особливостей проєктування автоматизованої інтелектуальної системи керування виробництвом на основі методології SysML, аналіз проєктних рішень.

Матеріали і методи. Основну увагу приділено інтерпретації блоків і зв'язків на основних діаграмах при побудові архітектури автоматизованої інтелектуальної системи, а також можливостей аналізу параметрів розроблюваної системи.

Як приклад розглянуто процес проєктування системи моніторингу виробництва, що включає моніторинг технологічного процесу, апаратного обладнання й технічних засобів автоматизації. Внаслідок великого об'єму запропонованого проєкту стаття поділена на декілька частин. В першій розглянуто загальні підходи та використовувані діаграми SysML, а також розробка діаграми вимог для задачі моніторингу виробництва. В наступних частинах наведені статичні діаграми та динамічні діаграми для окремих самостійних частин проєкту.

Викладення основних результатів дослідження. *Загальна концепція методології проєктування SysML.* SysML (англ. The Systems Modeling Language — мова моделювання систем) — предметно-орієнтована мова моделювання систем, що підтримує визначення, аналіз, проєктування, перевірку та підтвердження відповідності широкого спектра систем. SysML розроблено в рамках проєкту специфікації з відкритим вихідним кодом, тож система має відкриту ліцензію для поширення і використання. Як мова SysML є розширенням частини мови UML, що включає діаграми UML 2.0, змінені діаграми UML 2.0, а також нововведені діаграми.

SysML визначає такі діаграми (рис. 2):

діаграми вимог (Requirement Diagram) — це розширення SysML, що визначає вимоги до системи;

структурні діаграми (Structure Diagram):

- діаграма визначення блоків (Block Definition Diagram — BDD), що замінює діаграму класів UML2 та означає програмні, апаратні та інші блоки системи;

- внутрішня блокова діаграма або діаграма внутрішньої структури (Internal Block Diagram — IBD), що замінює діаграму композитних структур UML2 та описує внутрішнє наповнення блоків та взаємодію між ними;

- параметрична діаграма (Parametric Diagram), розширення SysML для аналізу критичних параметрів системи;

- діаграма пакетів (Package Diagram), ідентичні UML, що компонують систему, визначають стейкхолдерів, погляд (View) та точки зору (Viewpoint) проєкту, а також означають профілі;

динамічні діаграми (Behavior Diagram):

- діаграма діяльності (Activity Diagram), що модифікована в SysML і визначає діяльності та дії як окремих компонентів системи, так і їх блоків;

- діаграми послідовності (Sequence Diagram), ідентичні UML, що описують потік управління між акторами та системами (блоками) або між частинами системи;

- діаграми станів (State Chart/Machine Diagram), ідентичні UML, визначають життєвий цикл блоків BDD, якому повинні відповідати всі екземпляри. Життєвий цикл визначає всі можливі стани для блоку, події та умови переходу між станами;

- діаграма прецедентів (Use Case Diagrams), ідентична UML, що застосовується для вираження необхідного поведіння системи без опису реалізації її поведінки.

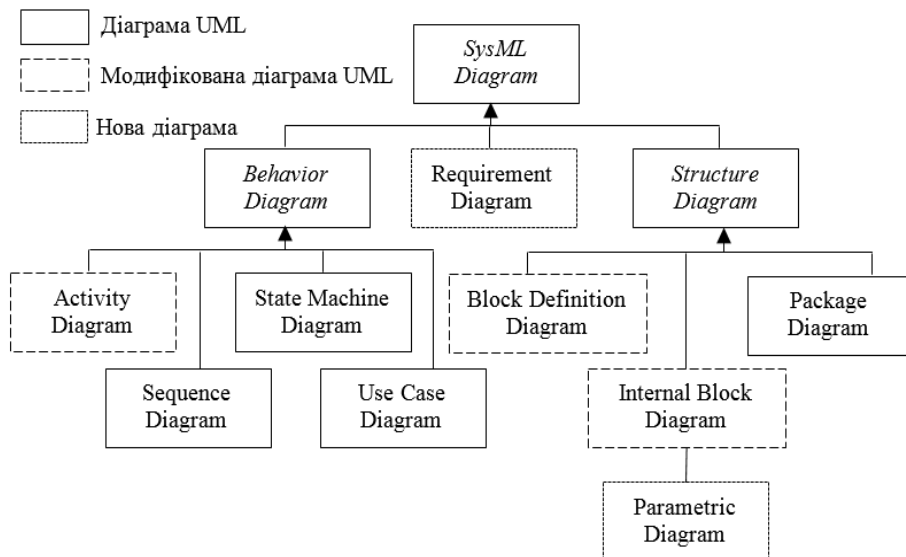


Рис. 2. Ієрархія діаграм SysML

Основними елементами діаграми SysML є блоки та зв'язки. Конструкції мови для управління моделлю підтримують моделі Views, Viewpoints, що розширюють можливості UML і архітектурно стоять в одному ряду з ISO/IEC/IEEE 42010:2011. Viewpoints та модель Views також можна розглядати як модель опису, яка доповнює модель системи. Viewpoint та модель View відображає елементи однієї або декількох системних моделей. Зокрема, Viewpoint — це специфікація правил для побудови View для вирішення низки проблем зацікавлених сторін. View призначений для представлення системи з цієї точки зору. Це дає змогу зацікавленим сторонам вказати аспекти системної моделі, які є важливими для них з точки зору Viewpoints, а потім представити ці аспекти системи в конкретному вигляді View. Ще однією особливістю SysML є прив'язка (Allocation) — механізм SysML, що дає змогу поєднувати елементи різних моделей. У саму мову вмонтовані три типи прив'язок:

- прив'язка поведінки — пов'язує поведінку (представлену на одній або декількох поведінкових діаграмах) з блоком, який ця поведінка реалізує;
- прив'язка структури — з'єднує логічні структури з фізичними;
- прив'язка потоку об'єктів — пов'язує потік елементів (на структурній діаграмі) з дугою потоку об'єкта (на діаграмі діяльності).

Одним з підходів до розробки проєкту IACU згідно з методологією SysML може бути така послідовність етапів (рис. 3) для елемента системи:

- ідентифікація дійових осіб, які взаємодіють з елементом. Кандидати на включення в цю групу — ті, хто потребує певної поведінки елемента для виконання

своїх власних завдань, або ті, хто прямо або побічно задіяні у функціонуванні елемента;

- організація дійової особи, що визначає загальні і більш спеціалізовані ролі;
- розгляд основних шляхів взаємодії кожної дійової особи з елементом, а також самі взаємодії, які змінюють стан елемента, його оточення або забезпечують реакцію на якусь подію;
- розгляд виняткових шляхів взаємодії кожної дійової особи з елементом;
- організація поведінки, що виявлена на етапах 3 і 4, у вигляді варіантів використання, застосовуючи зв'язок включення та розширення, щоб виділити загальну поведінку і відокремити виняткові.

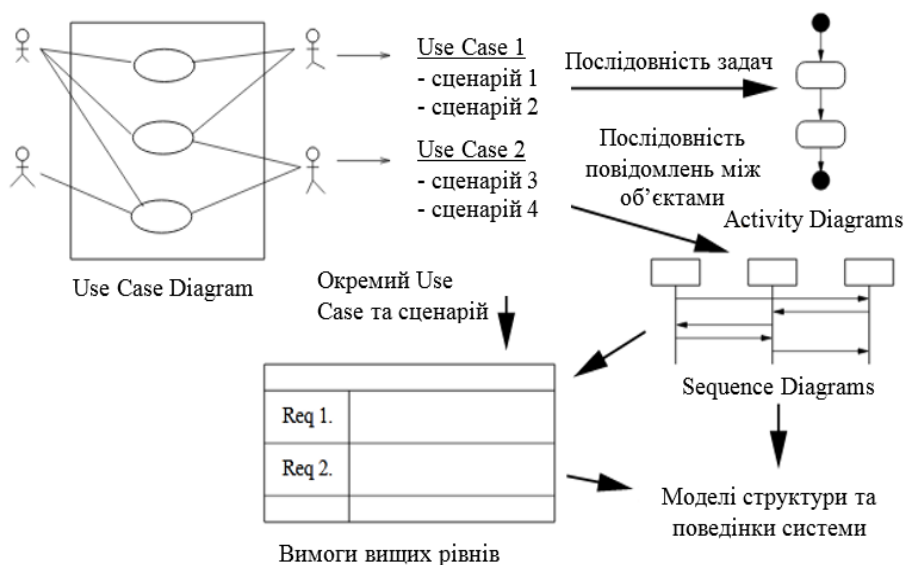


Рис. 3. Концепція розробки діаграм SysML

Визначення вимог до системи. Основою розробки системи є формулювання вимог до системи, що відображається на відповідній діаграмі. Ця діаграма в подальшому допомагає виконувати трасування, тобто відслідковування відповідності моделі висунутим вимогам, перевірку наявності вимог, яким немає відповідності в моделях та наявності елементів моделі, що не мають прив'язки до вимог. Крім того, при внесенні змін у вимоги можна відслідкувати, що підтверджені зміни були реалізовані. В SysML визначена нова (порівняно з UML 2.0) діаграма вимог (Requirement diagram), що формує загальні вимоги до системи. Основними елементами діаграми є блок вимог та зв'язки між блоками вимог або блоками інших діаграм, наприклад, діаграми визначення блоків або діаграми прецедентів.

Нижче наведено фрагмент проектування інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення, пов'язаний з моніторингом виробництва. Для побудови ефективної інтелектуальної системи харчовим виробництвом замовник і проєктант орієнтуються на забезпечення виконання низки вимог, передусім на мінімізацію

всіх видів втрат, основних і додаткових, пов'язаних з простоями, поломками технічних засобів автоматизації та технологічного обладнання, недотриманням технологічного регламенту. При цьому слід забезпечити швидке реагування системи на зміну умов функціонування, оптимізацію роботи виробничих ділянок, випуск максимальної кількості продукції із заданою якістю. Для забезпечення всіх вимог, які ставляться при побудові ІАСК, необхідно вирішувати різні групи задач, зокрема, моніторингу. Тому задачу моніторингу шляхом декомпозиції поділено на підзадачі: моніторинг виробництва, моніторинг технологічного процесу, моніторинг обладнання та ТЗА. Моніторинг виробництва направлений на мінімізацію виробничих втрат, пов'язаних з роботою технологічних ділянок, скоординованістю їх функціонування, виявленням проблемних місць. Моніторинг ТП забезпечує вчасне виявлення порушення технологічного регламенту, погіршення якості проходження ТП та регулювання як ТП в цілому, так і окремих технологічних змінних. Моніторинг обладнання та ТЗА складається з двох рівноцінно-важливих частин: моніторинг технологічного обладнання, що забезпечує ефективність проходження ТП, та моніторинг ТЗА, направлений на забезпечення якості ТП.

Вирішення поставлених задач ілюструє використання діаграми вимог SysML. На рис. 4 і 5 наведені діаграми вимог моніторингу виробництва та показано зв'язок з вимогами до ІАСК. Показані лише ті вимоги, що безпосередньо впливають на ІАСК. Зокрема, ефективність виробництва включає множинне входження одного блоку в інші Containment: Ефективність ТП, Ефективність організаційного забезпечення, Ефективність апаратного забезпечення. У свою чергу, зазначені вимоги поділені на окремі підгрупи вимог, відповідно до притаманної їм специфіки. Так, ефективність ТП через зв'язок Shared Association «ціле — частина зі слабшим відношенням» містить дві вимоги: Дотримання технологічного регламенту та Мінімізація технологічних та енергетичних витрат.

Ефективність організаційного забезпечення забезпечується виконанням вимог, пов'язаних з роботою підсистем виробництва, та впливає на вимоги суміжних гілок, наприклад, на Режим роботи ТП. Ефективність апаратного забезпечення має логічне обґрунтування через зв'язок Derive з вимогами щодо Безперебійної роботи обладнання та Безперебійної роботи ТЗА. Крім того, уточнення окремих вимог здійснюється відношенням Refine, наприклад, Мінімізація технологічних та енергетичних витрат, Мінімізація втрат та Мінімізація проміжних втрат технологічного комплексу (ТК). Через зв'язок Trace забезпечується відслідковування взаємозалежності та взаємовпливу Поточного стану ТП та Отримання й аналіз даних про стан ТЗА.

Також у цій діаграмі реалізоване відношення головної вимоги щодо забезпечення Режиму роботи ТП (майстер) за рахунок виконання підлеглої вимоги Поточного стану ТП (слейв) через зв'язок MasterCallout.

Отже, діаграма вимог завдяки розробленим семантичним відношенням показує взаємозв'язки та взаємовпливи загальних та уточнюючих вимог, що забезпечує охоплення та глибину різних сфер забезпечення системи: апаратне та програмне. Блоки уточнюючих вимог фігурують у структурних і поведінкових діаграмах проекту.

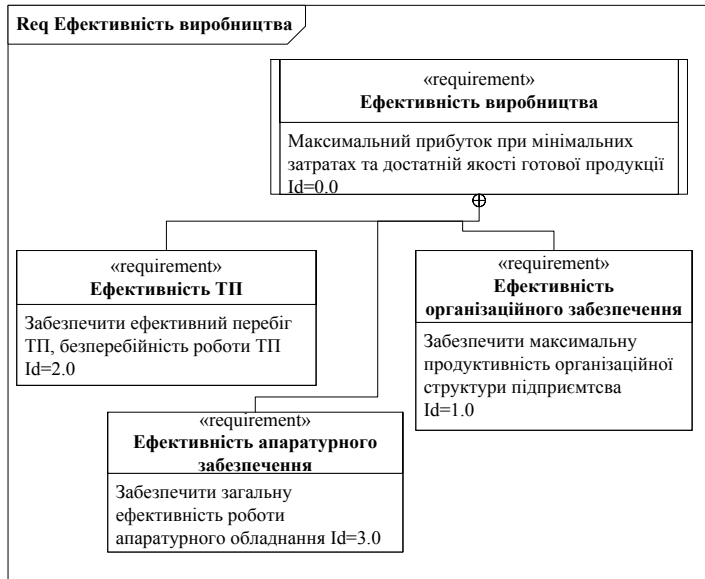


Рис. 4. Діаграма вимог проєкту моніторингу виробництва



Рис. 5. Діаграма вимог ефективності ТП

Висновок

У першій частині статті висвітлені проблеми сучасних стандартів у сфері проєктування ІАСК технологічними процесами. Показано, що згідно із сучасними вимогами при проєктуванні ІАСК доцільно використовувати методологію проєктування SysML. Проведено огляд основних діаграм SysML із зазначенням особливостей ТП харчових виробництв, а також на прикладі задачі моніторингу виробництва розроблено та проведено аналіз діаграми вимог. Наведений приклад не висвітлює всі особливості мови SysML, але ілюструє один з варіантів розробки діаграми вимог як перший етап проєктування ІАСК.

У наступній частині будуть розглянуті структурні діаграми для запропонованого прикладу та проведено детальний аналіз їх застосовності.

Література

Zaec, N., Vlasenko, L., Lutska, N., Usenko, S. (2019). *System Modeling for Construction of the Diagnostic Subsystem of the Integrated Automated Control System for the Technological Complex of Food Industries*, Proceedings of 5th International Conference on Mechatronics and Robotics Engineering ICMRE 2019. Rome, Italy. doi.org/10.1145/3314493.3314523.

Vassilyev, S. N., Novikov, D. A., Bakhtadze, N. N. (2013). Intelligent Control of Industrial Processes. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(9), 49—57. doi.org/10.3182/20130619-3-RU-3018.00643.

Barbieri, G., Kernschmidt K., Fantuzzi C., Vogel-Heuser B. (2014). A SysML based design pattern for the high-level development of mechatronic systems to enhance re-usability. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(3), 3431—3437. doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.00615.

Korobiichuk, I., Ladanyuk, A., Vlasenko, L., Zaiets, N. (2018). *Modern Development Technologies and Investigation of Food Production Technological Complex Automated Systems*, Proceedings of 2-nd International Conference on Mechatronics Systems and Control Engineering ICMSCE 2018. Amsterdam, Netherlands. doi.org/10.1145/3185066.3185075.

Rudas, I. J., & Fodor, J. (2008). Intelligent systems. *International Journal of Computers, Communication & Control*, III(Suppl.), 132—138, Proceedings of ICCCC 2008.

Vassilyev, S. N., Kelina, A. Yu., Kudinov, Y. I., Pashchenko, F. F. (2017). Intelligent Control Systems. *Procedia Computer Science*, 103, 623—628. doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.088.

Ruan, D., Chen, G., Kerre, E. E., Wets, E. (2005). *Intelligent data mining: techniques and applications*. 1 ed. Heidelberg: Springer.

Cauffriez, L., Ciccotelli, J., Conrard, B. (2004). Design of intelligent distributed control systems: a dependability point of view. *Reliability Engineering & System Safety*, 84(1), 19—32. doi.org/10.1016/S0951-8320(03)00174-1.

Giret, A., Trentesaux, D., Salido, M. A., Garcia, E., Adam, E. (2017). A holonic multi-agent methodology to design sustainable intelligent manufacturing control systems. *Journal of Cleaner Production*, 167, 1370—1386. doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.079.

SEI Digital Library. Взято з <https://sei.cmu.edu/publications/technical-papers/index.cfm> (Дата звернення 24.06.2021).

OMG. Model-based Engineering from Development to Manufacturing. URL: <https://www.omg.org/industries/manufacturing.htm> (Дата звернення 24.06.2021).

Барсегян, А. А., Куприянов, М. С., Холод, И. И., Тесс, М. Д., Елиазаров, С. И. (2009). *Анализ данных и процессов: учеб. пособие* (3-е изд.). СПб.: БХВ-Петербург.

OMG. News & Articles. Взято з <https://www.omgsysml.org/news-articles.htm> (Дата звернення 24.06.2021).

LACTIC ACID BACTERIA AS PRODUCERS OF UREASE

V. Udymovych

National University of Food Technologies

Key words:

Biocementation

Acid urease

Lactic acid bacteria

Lactobacillus reuteri

Streptococcus

thermophilus

Article history:

Received 14.04.2021

Received in revised form

28.04.2021

Accepted 06.05.2021

Corresponding author:

V. Udymovych

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Biocement is considered as a substitute for traditional cement in the strengthening and waterproofing of soil or cracks in concrete. Microbially induced calcite precipitation (MICP) is the basis of biocementation. It occurs in the presence of dissolved calcium chloride, urea and suspended cells of urease-producing bacteria or urease enzyme and is accompanied by the production of a significant amount of ammonia, as well as ions of ammonium and hydroxide, which increase the pH of the medium to 8.5—9.0. More environmentally friendly is an alternative biocementation process which combines the precipitation of struvite and calcium carbonate at acidic pH and prevents the production of free ammonium and the release of ammonia into the atmosphere. To make this process, the use of urease, which would be active in the acidic medium and would be synthesized by biosafe microorganisms, is required.

The search of acid urease producers was performed among lactic acid bacteria of lactic acid leaven, which are biosafe biological agents for large-scale use of biocementation. Lactic acid bacteria were grown on relatively cheap media based on skimmed milk powder or cabbage broth.

According to the results of previous screening, possible producers of the enzyme urease among the studied samples of lactic acid bacteria may be *Lactobacillus reuteri* (preparation “BioGaia”) and *Streptococcus thermophilus* (preparation “Optilact Plus”). Further verification of the properties of selected lactic acid bacteria showed the possibility of their use to obtain ureases that would be active in the medium with acidic pH. Synthesis of acid ureases by lactic acid bacteria *Lactobacillus reuteri* and *Streptococcus thermophilus* was conducted both on the medium made from skimmed milk powder or from cabbage broth.

МОЛОЧНОКИСЛІ БАКТЕРІЇ ЯК ПРОДУЦЕНТИ УРЕАЗИ

В. М. Удимович

Національний університет харчових технологій

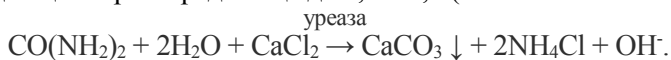
Біоцемент розглядається як заміник традиційного цементу при укріпленні та гідроізоляції ґрунту чи тріщин у бетоні. Основою біоцементациї є мікробно-індуковане осадження кальцію (МІОК), що відбувається за наявності розчиненого хлориду кальцію, сечовини та суспендованих клітин уреазопродукуючих бактерій чи ферменту уреазу і супроводжується утворенням значної кількості аміаку, а також іонів амонію та гідроксиду, через що рН навколишнього середовища підвищується до 8,5—9,0. Більш екологічно безпечним є альтернативний процес біоцементациї, який комбінує осадження струвиту та карбонату кальцію при кислому рН і запобігає утворенню вільного амонію та вивільненню аміаку в атмосферу. Для здійснення цього процесу потрібна уреаза, яка була б активною в кислому середовищі і синтезувалася біобезпечними мікроорганізмами.

Пошук продуцентів кислої уреазу проводили серед молочнокислих бактерій молочнокислих заквасок, які є біобезпечними біологічними агентами для широкомасштабного використання біоцементациї. Молочнокислі бактерії вирощували на відносно дешевих середовищах на основі сухого знежиреного молока або капустианого бульйону.

За результатами попереднього скринінгу можливими продуцентами фермента уреазу серед досліджених зразків препаратів молочнокислих бактерій можуть бути *Lactobacillus reuteri* (препарат «BioGaia») та *Streptococcus thermophilus* (препарат «Онтілакт Плюс»). Подальша перевірка властивостей відібраних молочнокислих бактерій підтвердила можливість їх застосування для отримання уреаз, які були б активні у середовищі з кислим рН. Синтез кислих уреаз молочнокислими бактеріями *Lactobacillus reuteri* та *Streptococcus thermophilus* відбувався як на середовищі, що було виготовлене на основі сухого знежиреного молока, так і на основі капустианого бульйону.

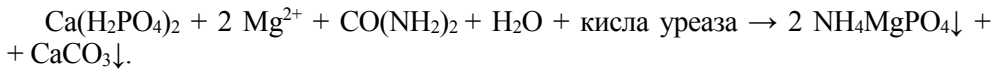
Ключові слова: біоцементация, кисла уреаза, молочнокислі бактерії, *Lactobacillus reuteri*, *Streptococcus thermophilus*.

Постановка проблеми. Найбільш відомим процесом біоцементациї, який призводить до зменшення гідралічної провідності (здатності пропускати воду) ґрунту та посилює міцність ґрунту, є так зване мікробно-індуковане осадження кальцію (МІОК), що відбувається за наявності розчиненого хлориду кальцію, сечовини та суспендованих клітин уреазопродукуючих бактерій чи ферменту уреазу при підвищенні рН середовища до 8,5—9,0 (Ivanov & Stabnikov, 2017):



Недоліком цього процесу є утворення значної кількості аміаку, який виділяється в атмосферу, а також іонів амонію та гідроксиду, що можуть потрапляти до природних водоймищ (Ivanov та ін., 2019).

Більш екологічно безпечним є альтернативний процес біоцементациї, який комбінує осадження струвиту (NH_4MgPO_4) та карбонату кальцію при використанні потрійного суперфосфату та солі магнію, що запобігає утворенню вільного амонію та вивільненню аміаку в атмосферу в процесі біоцементациї:



Для здійснення цього процесу доцільно застосовувати кислу уреазу, тобто уреазу, яка була б активною в кислому середовищі. При цьому бажано вести пошук продуцентів такої уреазу серед біобезпечних мікроорганізмів, наприклад, серед молочнокислих бактерій (Удимович & Стабніков, 2020).

Молочнокислі бактерії, які широко використовуються в приготуванні йогуртів та інших ферментованих молочних продуктів, використовують уреазну активність для нейтралізації кислот, що утворюються, а також для залучення діоксиду вуглецю і амонію в деякі метаболітичні шляхи, що утворюються при гідролізі сечовини (Monnet та ін., 2005).

Відомо, що *Bifidobacterium longum* subsp. *infantis* (LoCascio та ін., 2010), ротові бактерії *Streptococcus salivarius* (Chen & Burne, 2003) та деякі пробіотичні молочнокислі бактерії, такі як *Lactobacillus reuteri* (Wilson та ін., 2014), мають уреазну активність. Уреаза, що синтезувалася *Lactobacillus reuteri*, була кислою уреазою і показувала найвищу активність при pH 2 за температури 65°C (Kakimoto та ін., 2014). Кисла уреазу також утворювалася *L. fermentum* і була активна в діапазоні pH 2,0—4,0 (Ough & Trioli, 1988). Згідно з літературними даними деякі молочнокислі бактерії мають уреазну активність і уреазу зберігає активність при кислому pH (табл. 1).

Таблиця 1. Молочнокислі бактерії, що мають уреазну активність

Молочнокислі бактерії	Літературне джерело
<i>Lactobacillus reuteri</i>	Kakimoto та ін., 2014; Wilson та ін., 2014
<i>Bifidobacterium longum</i> subsp. <i>infantis</i>	LoCascio та ін., 2010
<i>Streptococcus salivarius</i>	Chen & Burne, 2003
<i>Streptococcus thermophilus</i>	Arioli та ін., 2007; 2009; Monnet та ін., 2005; Zotta та ін., 2008
<i>Lactobacillus fermentum</i>	Ough & Trioli, 1988

Оскільки лактобактерії є ауксотрофними мікроорганізмами, при вирощуванні та накопиченні є потреба використовувати збагачені поживні середовища з різноманітним складом як природного походження, так і синтетичного. Зазвичай, при вирощуванні молочнокислих бактерій використовують такі поживні середовища, як МРС або глюкозо-пептонне середовище. Висококоштовне глюкозо-пептонне середовище потребує додавання макро- та мікроелементів і використовується в лабораторних дослідженнях. Середовище МРС має всі необхідні сполуки для достатнього росту молочнокислих бактерій, але є дороговартісним, що не дає змоги його використовувати в промислових масштабах. Можливим поживним середовищем для вирощування молочнокислих бактерій може бути капуста́ний бульйон або ж середовище на основі сухого знежиреного молока.

Мета дослідження: видбір молочнокислих бактерій, що мають уреазну активність при кислому pH при вирощуванні їх на живильному середовищі, яке б могло знайти використання в промисловому масштабі.

Матеріали і методи. Мікроорганізми. Проводилась оцінка молочнокислих заквасок щодо наявності у них уреазної активності. В експерименті використовували кілька заквасок з таким складом молочнокислих бактерій (можливі продуценти уреазу відзначені жирним шрифтом) (табл. 2).

Таблиця 2. Молочнокислі закваски і їх мікробний склад

Молочнокисла закваска	Мікроорганізми, що входять до складу закваски
«Ротен» (Reuten, Medibase), Італія	<i>Lactobacillus reuteri</i> LR92
«BioGaia» (Farmasierra), Швеція	<i>Lactobacillus reuteri</i> DSM 17938
Оптилакт Плюс (ТОВ «Фарма Старт»), Україна	<i>Bifidobacterium lactis</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> DDS-1, <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i> , <i>Bifidobacterium longum</i>
Фітнес ТМ «Milk Day» (Державне дослідне підприємство Інституту продовольчих ресурсів НААН України), Україна	<i>Bifidobacterium infantis</i> , <i>B. longum</i> , <i>Streptococcus salivarius</i> subsp. <i>thermophilus</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> , <i>Lactococcus lactis</i> biovar <i>diacetylactis</i>
Імпрівіт йогурт (Державне дослідне підприємство Інституту продовольчих ресурсів НААН України), Україна	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i>
Біфідосан (ТОВ НВП «Аріадна»), Україна.	<i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Lactococcus cremoris</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i>
Йогурт (ТОВ НВП «Аріадна»), Україна	<i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> , <i>Lactococcus cremoris</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i>

Культивування молочнокислих бактерій. Сухе знежирене молоко розчиняли в дистильованій воді для приготування 8% розчину, розливали по 100 мл у плоскодонні колби ємністю 250 мл і стерилізували методом тиндальзації (Раскошная та ін., 2016). Сечовину, 20 г, розчиняли в 100 мл дистильованої води, отриманий розчин стерилізували методом холодної фільтрації через мембранний фільтр з діаметром пор 0,25 мкм. Додавали по 10 мл розчину сечовини на 100 мл молока.

Підрібнену свіжу капусту, 200 г, додавали в 1 л водопровідної води, кип'ятили протягом 15 хв, фільтрували через ватно-марлевий фільтр, фільтрат розводили питною водою у співвідношенні 1:1. У фільтрат вносили, г/л: глюкоза, 20; пептон, 10; г карбонат кальцію, 10 (Тимченко та ін., 2010). Отримане живильне середовище нагрівали до кипіння, витримували 10 хв, розливали у колби об'ємом 250 мл і стерилізували протягом 20 хв при температурі $121 \pm 1^\circ\text{C}$.

Молочнокислі закваски, зокрема, Ротен (Р), Оптилакт (О), Фітнес (Ф), Імпрівіт (І), Біфідосан (Б) і Йогурт (Й) вносили в колби (0,1 г в одну колбу) зі стерильним молоком і молоком, в яке був доданий розчин сечовини (С). Стерильне молоко (М) без внесення закваски слугувало контролем. Колби інкубували в термостаті за температури 37°C 96 год зі стерильним відбором проб для вимірювання рН через кожні 24 години. Досліди проводили в трьох повторностях, для розрахунків використано середнє арифметичне значення.

Викладення основних результатів дослідження. Зміни рН в середовищах з молочнокислими заквасками показані на рис. 1—3. Зміни рН в контролі (молоко без закваски) не відбувалося, залишаючись із середнім значенням 6,5, тоді як рН у молоці із заквасками знижувалося і досягало після 72 год інкубації в колбах з Ротен — 5,1, Оптилакт — 5,0, Фітнес — 3,7, Імпрівіт — 3,4, Біфідосан — 3,4, і Йогурт — 4,0. Подальше підвищення рН після 96 год було викликано, найімовірніше, частковим лізисом бактеріальних клітин. У колбах, в які було внесено розчин сечовини, значення рН до 72 год інкубації склали: з Ротен — 8,6, Оптилакт — 8,5, Фітнес — 4,6, Імпрівіт — 5,1, Біфідосан — 6,3, і Йогурт — 7,2.

Згідно з отриманими даними досліджені закваски молочнокислих бактерій мали різну уреазну активність. У контрольних зразках молока із сечовиною рН не змінювалось, у зразках молока із внесеними заквасками рН знижувалося і підвищувалося у зразках молока із заквасками при додаванні сечовини.

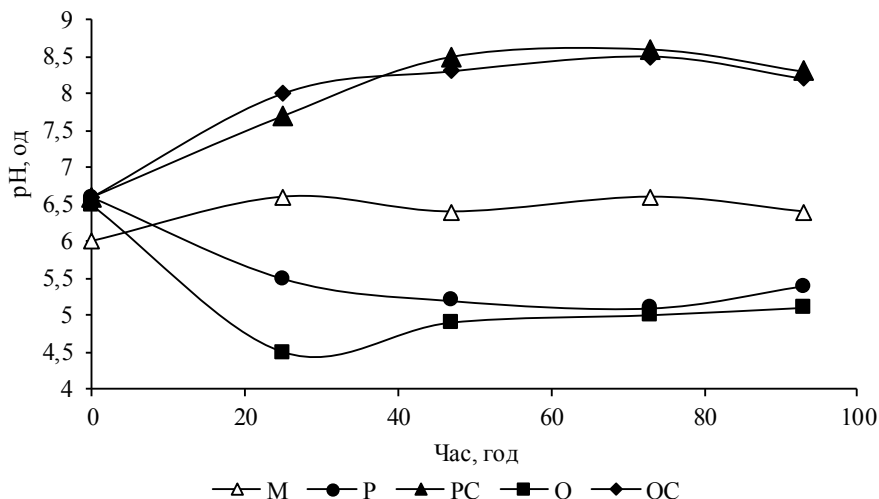


Рис. 1. Зміни рН у зразках: контроль (молоко, М, Δ); Ротен (Р, ●); Ротен+сечовина (МРС, ▲); Оптілакт (МО, ■); Оптілакт+сечовина (ММ, ◆)

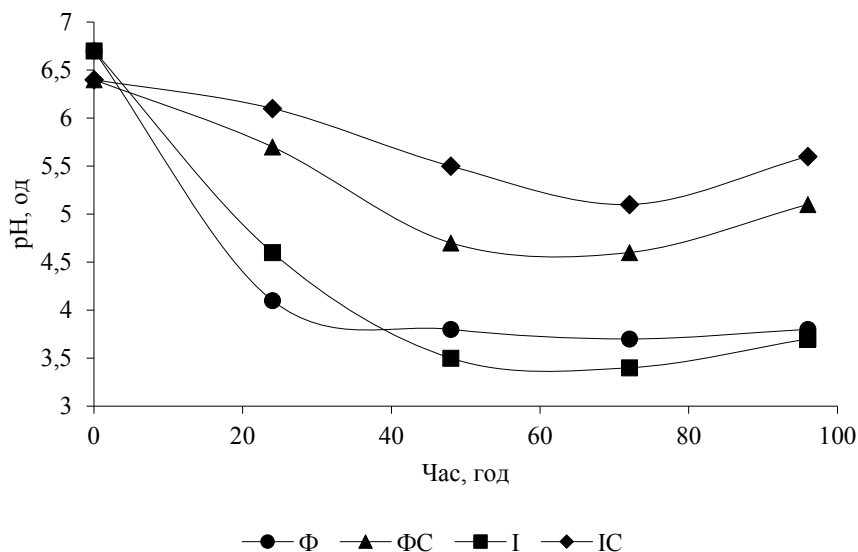


Рис. 2. Зміни рН у зразках: Фітнес (Ф, ●); Фітнес+сечовина (ФС, ▲); Імпрівіт (І, ■); Імпрівіт +сечовина (ІС, ◆)

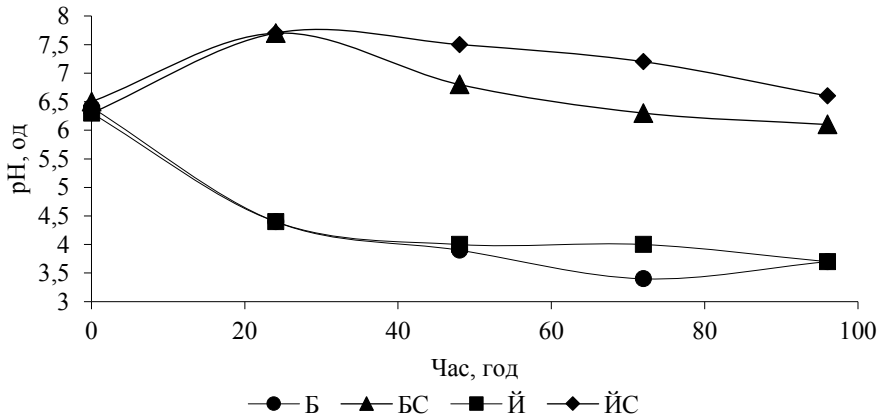


Рис. 3. Зміни рН у зразках: Біфідосан (Б, ●); Біфідосан + сечовина (БС, ▲); Йогурт (Й, ■); Йогурт + сечовина (ЙС, ◆)

Для подальших досліджень було обрано препарати «BioGaia» (*Lactobacillus reuteri* DSM 17938) та «Оптілакт Плюс» (*Streptococcus thermophilus*). Метою дослідження була перевірка збереження активності уреазы цих молочнокислих бактерій у кислому середовищі. Для цього в зразки культуральну рідину молочнокислих бактерій на другу добу культивування вносили завчасно підготовлений розчин сечовини і продовжували вимірювання значення рН (рис. 4).

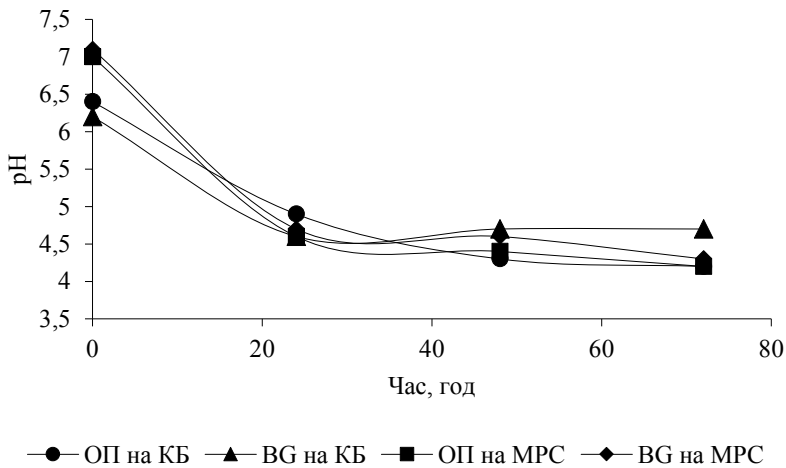


Рис. 4. Зміни рН у зразках: Оптілакс Плюс на капустяному бульйоні (ОП на КБ, ●); Оптілакс Плюс на МРС (ОП на МРС, ▲); BioGaia на капустяному бульйоні (BG на КБ, ■); BioGaia на МРС (BG на МРС, ◆)

Значення рН знижувалося і досягало через 72 год інкубації в колбах з Оптілакт Плюс (вироснування на капустяному бульйоні) — 4,2, Оптілакт Плюс (вироснування на МРС) — 4,2; BioGaia (вироснування на капустяному бульйоні) — 4,7; BioGaia (вироснування на МРС) — 4,3.

Висновки

Молочнокислі бактерії *Lactobacillus reuteri* DSM 17938 та *Streptococcus thermophilus* продукують уреазу, які можуть бути активними в кислих умовах і застосовуватися для проведення біобезпечної біоцементації, яка комбінує осадження струвіту (NH_4MgPO_4) та карбонату кальцію при використанні потрійного суперфосфату і солі магнію та запобігає утворенню вільного амонію й вивільнення аміаку в атмосферу.

Література

- Раскошная, Т. А., Семенихина, В. Ф., Рожкова, И. В., Бегунова, А. В. (2016). Разработка питательной среды и режимов культивирования *Lactobacillus reuteri* для получения бактериального концентрата. *Техника и технология пищевых производств*, 42(3), 56—62.
- Тимченко, Л. Д., Пенькова, Н. И., Катунина, Л. С. (2010). Сравнительный анализ традиционных питательных сред и новая капустная среда для культивирования лактобактерий. *Вестник МГОУ*, 2, 51—55.
- Удимович, В. М., Стабніков, В. П. (2020). Молочнокислі бактерії як продуценти кислій уреазу. Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції: матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції. Київ: НУХТ.
- Arioli, S., Monnet, C., Guglielmetti, S., Parini, C., De Noni, I., Hogenboom, J., Halami, P. M., Mora, D. (2007). Aspartate biosynthesis is essential for the growth of *Streptococcus thermophilus* in milk, and aspartate availability modulates the level of urease activity. *Applied and Environmental Microbiology*, 73, 5789—5796. Doi: 10.1128/AEM.00533-07.
- Arioli, S., Roncada, P., Salzano, A. M., Deriu, F., Corona, S., Guglielmetti, S., Bonizzi, L., Scaloni, A., Mora, D. (2009). The relevance of carbon dioxide metabolism in *Streptococcus thermophilus*. *Microbiology*, 155(6), 1953—1965. Doi: 10.1099/mic.0.024737-0.
- Chen, Y. M., Burne, R. A. (2003). Identification and characterization of the nickel transport system for urease biogenesis in *Streptococcus salivarius* 57.1. *Journal of Bacteriology*, 185(23), 6773—6779. Doi: 10.1128/jb.185.23.6773-6779.2003.
- Ivanov, V., Stabnikov, V. (2017). Construction Biotechnology: Biogeochemistry, Microbiology and Biotechnology of Construction Materials and Processes. Green Energy and Technology, Springer, Doi:10.1007/978-981-10-1445-1.
- Ivanov V., Stabnikov V., Stabnikova O., Kawasaki S. (2019). Environmental safety and biosafety in construction biotechnology. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35(2), 26. Doi:10.1007/s11274-019-2598-9.
- LoCascio, R. G., Desai, P., Sela, D. A., Weimer, B., Mills, D. A. (2010). Broad conservation of milk utilization genes in *Bifidobacterium longum* subsp. *infantis* as revealed by comparative genomic hybridization. *Applied and Environmental Microbiology*, 76, 7373—7381. Doi: 10.1128/AEM.00675-10.
- Kakimoto, S., Sumino, Y., Akiyama, S., Nakao, Y. (1989). Purification and characterization of acid urease from *Lactobacillus reuteri*. *Agricultural and Biological Chemistry*, 53(4), 1119—1125. Doi: 10.1080/00021369.1989.10869440.
- Monnet, C., Mora, D., Corrieu, G. (2005). Glutamine synthesis is essential for growth of *Streptococcus thermophilus* in milk and is linked to urea catabolism. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(6), 3376—3378. Doi: 10.1128/AEM.71.6.3376-3378.2005.
- Wilson, C. M., Loach D., Lawley, B., Bell, T., Sims, I., O'Toole, P. W., Zomer, A., Tannock, G. W. (2014). *Lactobacillus reuteri* 100-23 modulates urea hydrolysis in the murine stomach. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(19), 6104—6113. Doi: 10.1128/AEM.01876-14.
- Zotta, T., Ricciardi, A., Rossano, R., Parente, E. (2008). Urease production by *Streptococcus thermophilus*. *Food Microbiology*, 25(1), 113—119. Doi: 10.1016/j.fm.2007.07.001.
- Yang, L., Wang, S., Tian, Y. (2008). Purification, properties, and application of a novel acid urease from *Enterobacter* sp. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 160(2), 303—313. Doi:10.1007/s12010-008-8159-6.

OBTAINING BIOGENIC SILVER NANOPARTICLES USING YEAST AND PROSPECTS FOR THEIR APPLICATION IN ANTIMICROBIAL THERAPY

Y. Kharchenko, Y. Laziuka, O. Skrotska

National University of Food Technologies

Yu. Penchuk

Taras Shevchenko National University of Kyiv

Key words:

Nanoparticles

Biosynthesis

Yeast

Saccharomyces cerevisiae

Antiviral activity

Antimicrobial action

Article history:

Received 19.04.2021

Received in revised form
30.04.2021

Accepted 14.05.2021

Corresponding author:

Y. Kharchenko

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Nanomaterials are used in many industries. And there are different ways to obtain them — chemical, physical and biological. The biological method of nanoparticle synthesis, which involves the use of plant, bacteria, fungi and yeast cells, is environmentally friendly and cost-effective, because this method of synthesis eliminates the need for usage of toxic and expensive materials. The biological method allows to obtain nanoparticles with different shapes and sizes, depending on different conditions, such as changes in temperature, pH, cultivation time. Also, in contrast to nanoparticles obtained by chemical or physical method, biogenic nanoparticles contain biomolecules on the surface, which makes them biocompatible and allows to use them in medicine and related fields.

Nanoparticles synthesized with microorganisms showed number of biological properties — antibacterial, antifungal, antiviral and anticancer activity. Among metal nanoparticles, special attention is paid to silver nanoparticles, which have antimicrobial action against antibiotic-resistant bacterial strains, also showed antiviral activity, in particular in the treatment of coronavirus infection. There are literature data indicating fundamentally different ways of biological action mechanism of silver nanoparticles. The most common mechanism of antibacterial action is direct contact of nanoparticles with peptidoglycan and disruption of the cell wall structure, which leads to cell destruction. The most probable mechanism of the antiviral action of nanoparticles is blocking the stages of virus attachment to sensitive cells.

This article provides information on the possibility of the use of silver nanoparticles in the treatment of coronavirus infection. The analysis of preparations containing silver nanoparticles and which are implemented on the territory of Ukraine has been carried out. Various variants of the synthesis of silver nanoparticles using yeast of the genus *Saccharomyces*, *Candida*, *Cryptococcus*, *Rhodotorula*, *Yarrowia* are shown. The shape, size and the biological effect of these nanoparticles were described. Calculations concerning the production of silver nanoparticles using *Saccharomyces cerevisiae* were given. Various mechanisms of antimicrobial action of nanoparticles were described.

DOI: 10.24263/2225-2924-2021-27-3-6

ОТРИМАННЯ БІОГЕННИХ НАНОЧАСТОК СРІБЛА З ВИКОРИСТАННЯМ ДРІЖДЖІВ І ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У ПРОТИМІКРОБНІЙ ТЕРАПІЇ

Є. І. Харченко, Ю. В. Лазюка, О. І. Скроцька

Національний університет харчових технологій

Ю. М. Пенчук

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Наноматеріали використовуються в багатьох галузях промисловості. При цьому існують різні способи їх отримання — хімічні, фізичні та біологічні. Саме біологічний метод синтезу наночастинок, що передбачає використання клітин рослин, бактерій, грибів і дріжджів, є екологічно чистим та економічно вигідним, оскільки не потребує використання токсичних і дорогих матеріалів. Вказаний метод дає змогу отримувати наночастки з різною формою та розмірами, що досягається різними умовами, такими, як зміна температури, рН, часу культивування тощо. Також, на відміну від наночастинок, отриманих хімічним чи фізичним методом, біогенні наночастки містять на поверхні біомолекули, що робить їх біосумісними. Це дає змогу використовувати їх у медицині та суміжних галузях.

Наночастки, синтезовані з використанням мікроорганізмів, проявляють ряд біологічних властивостей — антибактеріальну, протигрибкову, антивірусну та протиракову активність. Серед наночастинок металів особливу увагу приділяють наночасткам срібла, які чинять антимікробну дію щодо стійких до антибіотиків штамів бактерій, а також антивірусну активність, зокрема при лікуванні коронавірусної інфекції. Що стосується механізму дії наночастинок срібла, то в літературі наводяться дані, які вказують на принципово різні шляхи їх біологічної дії. Найбільш поширений механізм протибактеріальної дії — безпосередня взаємодія наночастинок з пептидогліканом і порушення структури клітинної стінки, що призводить до руйнування клітини. Найімовірніший механізмом протівірусної дії наночастинок — блокування етапів прикріплення вірусу до чутливих клітин.

У статті наведено інформацію щодо можливості використання наночастинок срібла при лікуванні коронавірусної інфекції та здійснено аналіз препаратів, що містять наночастки срібла і реалізуються на території України. Показані різні варіанти синтезу наночастинок срібла з використанням дріжджів роду *Saccharomyces*, *Candida*, *Cryptococcus*, *Rhodotorula*, *Yarrowia*. Описано форму та розмір, а також біологічну дію цих наночастинок. Наведені розрахунки, що стосуються виробництва наночастинок срібла з використанням *Saccharomyces cerevisiae*. Описано різні механізми антимікробної дії наночастинок.

Ключові слова: наночастки, біосинтез, дріжджі, *Saccharomyces cerevisiae*, протівірусна активність, антимікробна дія.

Постановка проблеми. Дослідженню наночастинок срібла приділяють велику увагу в галузях матеріалознавства та колоїдної науки. Проте в останні роки дослідники почали звертати увагу на їхні біологічні властивості. Так, завдяки унікальним властивостям, що залежать від розміру та форми, наночастинок срібла проявляють антибактеріальні, антифугальні та противірусні властивості.

Найпростіший спосіб отримання наночастинок срібла полягає у відновленні нітрату срібла (AgNO_3) в етанолі за присутності поверхнево-активних речовин. Срібні наночастинок синтезують за допомогою хімічного відновлення. Стабілізуючими агентами для наночастинок срібла є полівініловий спирт, полівінілпіролідон, бичачий сироватковий альбумін, цитрат і целюлоза. Використання фізичних і хімічних підходів до синтезу наночастинок пов'язане з підвищеним екологічним навантаженням і забрудненням навколишнього середовища. Тому популярності набуває синтез наночастинок біологічним шляхом, який має забезпечувати такі переваги: нетоксичність, відтворюваність у виробництві, просте масштабування та можливість отримання частинок з чіткої визначеною морфологією.

Розглядаючи наночастинок срібла у розрізі практичного застосування в медицині, великий практичний інтерес як продуцент викликають дріжджі. Дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* є одним з найбільш досліджених і широко використовуваних у промисловості мікроорганізмів, адже культура сахароміцетів досить швидко росте, невибаглива до поживних середовищ і не потребує особливих умов проведення процесу біосинтезу. Тому **метою статті** є представлення гіпотетичної моделі для промислового синтезу біогенних наночастинок срібла, можливості їх використання як антивірусних сполук та аналіз різних родів і видів дріжджів як біологічних агентів для їх біосинтезу.

Викладення основних результатів дослідження. *Актуальність впровадження препарату на основі наночастинок срібла на фоні коронавірусної інфекції.* Наночастинок металів традиційно синтезують, використовуючи фізичні та хімічні методами. Однак ці методи характеризуються використанням небезпечних та агресивних речовин, включаючи боргідрид натрію (NaBH_4), реактив Толленса, N,N-диметилформамід (DMF) і поліетиленгліколь, які шкодять довкіллю, а також спричиняють серйозні проблеми зі здоров'ям. Слід наголосити, що отримання наночастинок за допомогою мікроорганізмів є екологічно безпечним, оскільки при цьому способі синтезу немає необхідності у використанні токсичних матеріалів (Iqtedar, 2019).

Протягом останніх десятиліть з'явилась велика кількість публікацій, що стосуються біосинтезу металевих наночастинок. Біологічні методи синтезу наночастинок відносяться до нових процесів зеленої генерації і розвиваються як альтернативний екологічно чистий напрямок. Цей спосіб є надійною альтернативою хімічним і фізичним методам синтезу наночастинок.

У літературних джерелах описано синтез наночастинок з використанням біологічних агентів, таких як рослинні екстракти, гриби, водорості, ціанобактерії, бактерії, дріжджі та актиноміцети (Mittal та ін., 2013). Біосинтез наночастинок здійснюється мікроорганізмами, які захоплюють іони-мішені з розчинів і потім накопичують відновлений метал у його елементарній формі через ферментативну активність (як біоредуктор), що утворюється в результаті метаболічної діяльності мікробних клітин.

Наночастки металів широко використовуються у противірусній терапії впродовж останніх кількох десятиліть. Наприклад, наночастки срібла, золота, титану, силіцію та купруму застосовують при різних вірусних інфекціях, включаючи вірус гепатиту В (HBV), H3N2 та H1N1, ВІЛ-1, вірус простого герпесу, везикулярний стоматит, ящур і вірус денге.

Інфекційні хвороби призводять до 20% смертей, а віруси відповідають приблизно за одну третину з них. Так SARS-CoV-2, вірус коронавірусної хвороби (COVID-19), передається безпосередньо від однієї людини до іншої. Спалах COVID-19 розпочався наприкінці 2019 р., а станом на липень 2020 р. вірусом SARS-CoV-2 інфіковано 16430566 осіб у 215 країнах світу. Кількість інфікованих випадків і смертей зростає з кожним днем практично у всіх країнах світу. Найкращим підходом до запобігання вірусних інфекцій є вакцинація. Однак розробка вакцин займає багато часу, є дорогавартісною і вимагає використання складного обладнання. Препарати наночастинок металів є альтернативою, що заслуговує на увагу при розробці протоколу лікування COVID-19 (Gurunathan та ін., 2020). Так, було встановлено мінімальну інгібуючу концентрації (МІК) наночастинок срібла (AgNPs) в різних відділах дихальної системи при ураженні COVID-19. Визначено, що оптимальним розміром наночастинок є 3—7 нм. Зокрема, використовуючи колоїдне срібло з розміром 5 нм та забезпечуючи вдихання стандартних аерозольних крапель діаметром 5 мкм, МІК наночастинок срібла можна досягти за використання 2 см³ концентрацією 100 мкг/мл при введенні у верхні дихальні шляхи та 6 см³ концентрацією 200 мкг/мл при введенні у нижні дихальні шляхи (Zachar, 2020).

Нині на ринку України представлені такі препарати з наночастками срібла (табл. 1).

Таблиця 1. Препарати, представлені на ринку України, що містять наночастки срібла

Назва	Діюча речовина	Дозування	Ціна	Виробник (країна)
Сінумікс Аква	Наночастки срібла (колоїдне срібло)	45—55 мг/л	35 грн/флакон (10 мл)	Фітопродукт (Україна)
Дефлю Сильвер	Наночастки срібла (колоїдне срібло)	45—55 мг/л	90 грн/флакон (10 мл)	Delta Medical (Швейцарія)
Нокспрей Сільвер	Наночастки срібла (срібла протеїнат)	1,25 мг/мл	70 грн/флакон (10 мл)	Sperco (Іспанія)

Противірусні механізми наночастинок металів спрямовані на прикріплення, проникнення та розмноження вірусів. Можливі механізми включають інактивацію вірусу прямо чи опосередковано, запобігаючи приєднанню вірусів до чутливих клітин і блокуючи етапи реплікації вірусів. Найчастіше наночастинок блокують вищевказані етапи, змінюючи структуру капсидного білка і зменшуючи вірулентність. З іншого боку, непрямий противірусний механізм дії наночастинок включає блокування проникнення вірусу в клітину через зміну мембранного потенціалу. Інгібування також може відбуватися, коли наночастинок виступають блокаторами ферменту нейрамінідази, який розщеплює зв'язок між гемаглютиніном вірусу та рецептором сіалової кислоти чутливих клітин (Gurunathan та ін., 2020).

Огляд перспективних методів синтезу біогенних наночастинок срібла. Металеві наночастинок можуть бути синтезовані різними способами. Хімічний синтез

досить поширений, проте біосинтез є більш перспективним. Особливо важливою є розробка екологічно чистих методів синтезу наночастинок срібла через їх високу антимікробну активність. Розроблено багато методів біологічного синтезу срібних наночастинок з використанням дріжджових, грибних або бактеріальних метаболітів (табл. 2).

Таблиця 2. Можливі механізми біосинтезу металічних наночастинок різними біологічними агентами (Khan та ін., 2017)

Біологічний агент	Механізм біосинтезу
Бактерії	Специфічні білки (NADH-залежна редуктаза або нітрат-залежна редуктаза) беруть участь у біоредукції іонів металів
Водорості	Функціональні групи, наприклад, гідроксильні беруть участь у біоредукції та стабілізації наночастинок
Гриби (фільтрат)	Специфічні ферменти, що беруть участь у відновленні металів і біоміметична мінералізація
Дріжджі	Зв'язані з мембранами цитозольні оксидоредуктази та хінони забезпечують відновлення та стабілізацію наночастинок
Рослини	У ролі відновлювальних стабілізуючих агентів виступають алкалоїди, флавоноїди, сапоніни, стероїди, дубильні речовини тощо

Як видно з табл. 2, біосинтез наночастинок клітинами дріжджів пов'язаний з мембранними білковими структурами та ферментами. Тому до переваг синтезу за допомогою дріжджів можна віднести можливість використання безклітинного водного екстракту, розмір отриманих наночастинок, статичні умови синтезу, низьку температуру та коротку тривалість біосинтезу.

Останні роки на фармацевтичному та косметичному ринках світу зростає попит на наночастинок срібла. Зважаючи на це, впродовж останнього десятиліття проводиться науковий пошук перспективних штамів дріжджів-продуцентів (табл. 3) наночастинок срібла та сировини, при використанні якої вдається отримати стабільні розчини наночастинок.

Таблиця 3. Використання дріжджів для біосинтезу наночастинок срібла

Продуцент	Параметри біосинтезу	Характеристика наночастинок	Біологічна дія	Джерело
1	2	3	4	5
<i>Candida</i> sp. VITDKGB	Супернатант + + 1 мМ AgNO ₃ , 35°C, 48 год, перемішування — 120 об/хв	Сферичні наночасти, середній розмір — 87 нм	Антибактеріальна активність	Dinesh K. S. та ін., 2011
<i>Cryptococcus laurentii</i> BNM 0525	Супернатант + + 1 мМ AgNO ₃ , 28°C, 48 год, перемішування — 100 об/хв	Полідисперсні наночасти, розмір 35—400 нм	Аантифунгальна дія	Fernandez J. G., та ін., 2016
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	Інактивована біомаса дріжджів + + 100 мг/л AgNO ₃ , 30°C, 60 год, перемішування — 150 об/хв	Здебільшого сферичні наночасти, розмір — 11 нм	Антибактеріальна, антифунгальна та протиракова активність	Salvadori M. R., Monezi T. A., Mehnert D. U., Corrêa B., 2019

1	2	3	4	5
<i>Rhodotorula</i> sp. ATL72	Безклітинний екстракт + 1 мМ AgNO ₃ , 27,5°C, 24 год, без доступу світла	Сферичні наночастки, розмір 9—21 нм	Антибактеріальна та антифугальна дія	Soliman H. M. та ін., 2018
<i>Rhodotorula glutinis</i>	Безклітинний екстракт + 1 мМ AgNO ₃ , 25°C, 168 год	Полідисперсні наночастинки, розміром 50—175 нм	Антифунгальна та каталітична активність	Cunha F. A. та ін., 2018
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Супернатант + 1 мМ AgNO ₃ , 30°C, 24 год	Сферичні наночастки, розмір 10—40 нм	Антибактеріальна активність	Badhusha M. S. M., Mohi-deen M. M. A. K., 2016
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> BU-MBT-CY1	Безклітинний екстракт + 1 мМ AgNO ₃ , 25°C, 72 год	Сферичні наночастки, розмір 10—30 нм	Антибактеріальна активність	Selvakumar R. та ін., 2011
<i>Yarrowia lipolytica</i> NCYC 789	Біомаса клітин + 3 мМ AgNO ₃ , 20°C, 120 год, перемішування — 130 об/хв, без доступу світла	Наночастки розміром від 0,5 до 1 нм	Антибактеріальна активність	Apte M., Sambre D., Gaikawad S., та ін., 2013

Як можна побачити з табл. 3, залежно від продуцента та походження матеріалу для синтезу (безклітинний екстракт, біомаса або супернатант) можна отримати наночастки різних розмірів. Проте у всіх випадках є незмінним джерело срібла — його нітрат. Це пов'язано з тим, що хімічна форма Ag визначає швидкість вивільнення йонів срібла і, зрештою, формування наночастинок. Сіль нітрату срібла має найбільший потенціал вивільнення йонів Ag⁺ у водному розчині, та не вимагає особливих умов (контролю температури або pH) (Nowack та ін., 2011). Якщо звернути увагу на характеристики наночастинок, то найбільший терапевтичний інтерес можуть представляти наночастки розміром 2—15 нм (Jeremiah та ін., 2020). Наночастки цього діапазону продукують одразу декілька варіантів дріжджів: *Rhodotorula mucilaginosa* (11 нм), *Rhodotorula* sp. ATL72 (9—21 нм) та *Saccharomyces cerevisiae* (10—40 нм). Для промислового виробництва варто брати до уваги показники, що мають економічний ефект: час синтезу, необхідність підтримки специфічних температурних і механічних умов. Так, продуцент *Rhodotorula mucilaginosa* має найдовшу тривалість процесу — 60 год при постійному перемішуванні. *Rhodotorula* sp. ATL72 має практично однакові з *Saccharomyces cerevisiae* умови проведення процесу: 24 год без перемішування, а температурний режим ближчий до стандартної кімнатної температури (27,5°C). Проте процес отримання наночастинок за допомогою *Rhodotorula* sp. ATL72 проводять з використанням безклітинного екстракту, що порівняно з *Saccharomyces cerevisiae*, де використовують для синтезу наночастинок супернатант, економічно менш

рентабельно. Найзручнішим і найбільш дешевим способом промислового синтезу вважається спосіб з використанням супернатанту, тому що виключаються додаткові стадії дезінтеграції клітин та відмивання наночасток від залишків клітин. Але, слід наголосити, що при використанні супернатанту клітин для біосинтезу наночасток можуть формуватись конгломерати наночасток у процесі їх зберігання, що призводить до втрати їх стабільності та зменшення антимікробної активності.

Отже, серед вказаних у табл. 3 продуцентів найбільший практичний інтерес викликають дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*, що є одним з найбільш досліджених і широко використовуваних у промисловості мікроорганізмів.

Представлення гіпотетичної моделі промислового виробництва біогенних наночасток для їх використання проти коронавірусної інфекції. Гіпотетичний процес промислового синтезу може виглядати так: за період епідемії COVID-19 в Україні, починаючи з березня 2020 р. по березень 2021 р., зареєстровано 1,82 млн випадків інфікування SARS-CoV-2. Водночас станом на кінець березня 2021 р. зареєстровано 350000 активних хворих на коронавірусну інфекцію. Враховуючи наявні на ринку України противірусні препарати, а також складність включення препарату до протоколів лікування коронавірусної хвороби, пропонується забезпечити цим противірусним засобом 1% хворих. Встановлено, що наночастки срібла ефективно інгібують SARS-CoV-2 у концентрації 100 мкг/мл при введенні у верхні дихальні шляхи у вигляді спрею (Jeremiah та ін., 2020). Курс лікування становить 7 днів, 2 мл на добу, тобто 1400 мкг наночасток срібла. Отже, нескладні математичні розрахунки показують, що для забезпечення лікування 1% хворих необхідно отримати близько 4,9 г наночасток срібла.

Для подальшого моделювання необхідно врахувати такі дані:

1. Для біогенного синтезу використовують супернатант *Saccharomyces cerevisiae* (Badhusha & Mohideen, 2016). З 1 л культуральної рідини отримують 950 мл супернатанту.

2. Для біогенного синтезу наночасток срібла використовують розчин нітрату срібла (AgNO_3), який додають у супернатант до кінцевої концентрації 1 мМ. Таке значення концентрації еквівалентне 0,108 г срібла. Отже, для отримання 4,9 г наночасток срібла необхідно використати 4,54 мМ AgNO_3 .

3. Враховуючи, що біоредукція срібла становить максимум 30% (Тюпа та ін., 2014), з 0,108 г нітрату срібла відновиться 0,0324 г срібла.

Отже, знаючи масу срібла, яку можна отримати з 1 л супернатанту з розчином нітрату срібла, визначаємо кількість супернатанту, необхідного для отримання 4,9 г наночасток. Кількісно це буде становити 151,23 л супернатанту.

Враховуючи сумарні втрати цільового продукту при виділенні (20%), потрібно отримати таку кількість супернатанту — 181,5 л. Для отримання такої кількості супернатанту необхідно мати 190,5 л культуральної рідини (рис. 1).

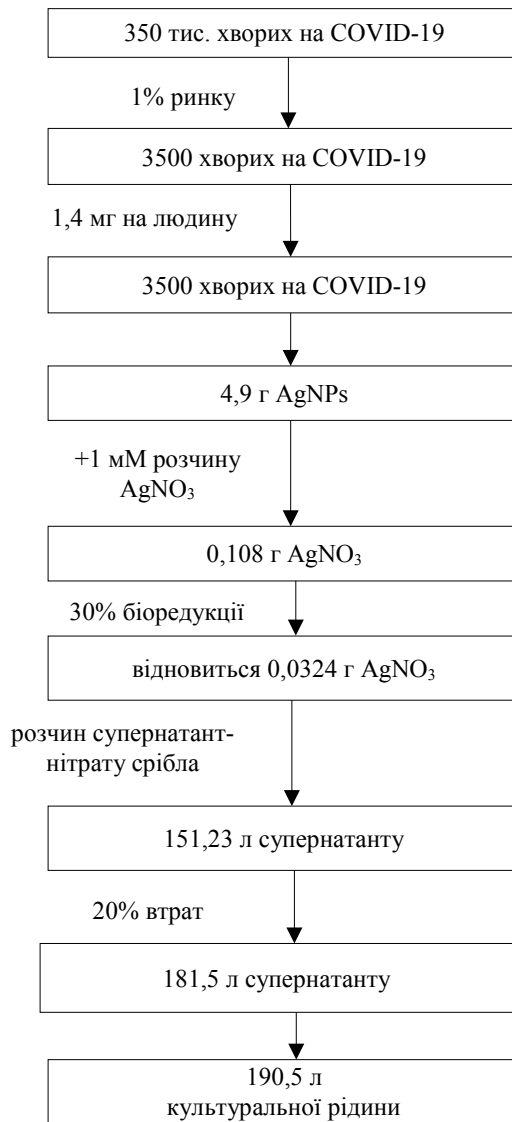


Рис. 1. Схема розрахунків необхідної кількості супернатанту дріжджів для отримання 4,9 г наночастинок срібла

Далі, знаючи об'єм культуральної рідини, потрібно підібрати ферментер необхідного об'єму для вирощування дріжджів. Якщо прийняти кількість робочих трудоднів рівною 60, то кількість культуральної рідини, яку можна отримати за цикл, становитиме 5,7 л. Отже, процес слід реалізувати у ферментері з геометричним об'ємом 10 л. Після завершення процесу культивування необхідно відділити супернатант від клітин за допомогою фільтр-пресу. Очищений від клітин супернатант використовують для біосинтезу наночастинок срібла.

Механізм синтезу біогенних наночастинок та ймовірний механізм протимікробної дії. Загальний спосіб одержання біогенних наночастинок срібла включає

відновлення іонів срібла за присутності відповідної речовини-відновника або поверхнево-активної речовини (Cheng та ін., 2016). У ролі речовин-відновників часто виступають продукти життєдіяльності клітини (похідні органічних кислот та білки) або її структурні елементи (фрагменти клітинної стінки або інших мембранних структур) як матриця для відновлення і стабілізації наночастинок (Jian Zhang & Hanying Zhao, 2009). Схематичне зображення процесу відновлення іонів срібла та формування наночастинок срібла відображено на рис. 2.

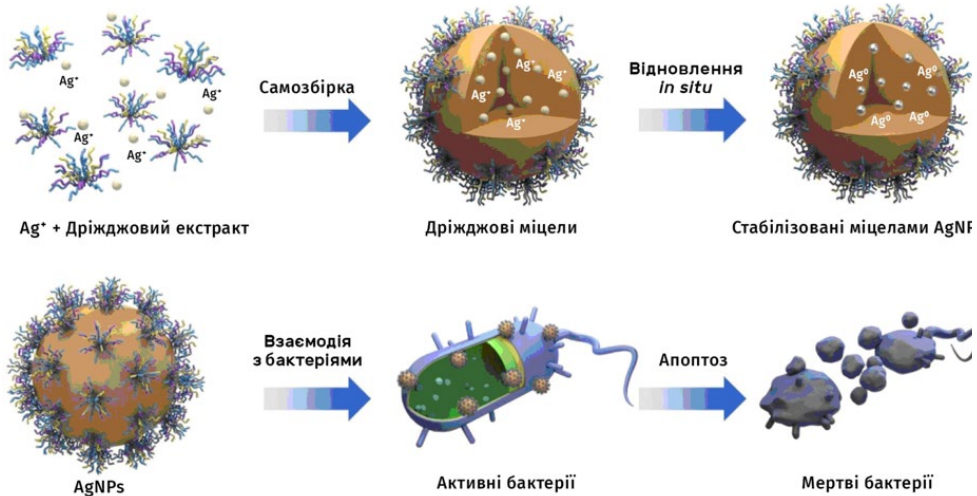


Рис. 2. Схематичне зображення механізму утворення і механізму антибактеріальної дії наночастинок срібла (Shu та ін., 2020)

Відомо, що наночастинки срібла проявляють антимікробну активність проти грибків, деяких вірусів і стійких до антибіотиків штамів бактерій. Що стосується механізму дії наночастинок срібла, то є літературні дані, що вказують на принципово різні шляхи їх біологічної дії. Так, серед можливих механізмів протимікробної дії виділяють: проникнення у внутрішньоклітинний простір і пригнічення реплікації ДНК; блокування транспортної системи у цитоплазматичних мембранах, що пов'язані з різницею електрохімічних потенціалів (натрієві канали); порушення роботи дихального ланцюга та синтезу АТФ. Найбільш поширений механізм протибактеріальної дії — безпосередній контакт наночастинок з пептидогліканом і порушення структури клітинної стінки, що призводить до руйнування клітини (рис. 2). Отже, спосіб протимікробної дії може бути кардинально різним і залежить від таких факторів: розміру, структури поверхні та форми наночастинок срібла.

Висновки

Через поширення інфекційних захворювань виникла необхідність пошуку альтернативних антимікробних сполук. Одними з таких перспективних засобів є наночастинки срібла. Механізм їхньої дії відрізняється залежно від характеристик (форма, розміри), а також від біологічного об'єкта. Антивірусна активність наночастинок може бути обумовлена блокуванням зв'язування вірусу з клітиною за

рахунок зміни структури вірусних капсидних білків, а також блокуванням етапу проникнення вірусу в клітину через зміну мембранного потенціалу. Механізм протибактеріальної дії наночасток срібла полягає у безпосередньому контакті наночасток з пептидогліканом, що призводить до порушення структури клітинної стінки та загибелі клітини.

Найбільший практичний інтерес для біосинтезу наночасток срібла викликають дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* як один з найбільш досліджених і широко використовуваних у промисловості мікроорганізмів. Біотехнологічний синтез наночасток має великі перспективи до промислового впровадження, адже є економічною та екологічною альтернативою хімічним і фізичним підходам.

Література

- Тюпа, Д. В., Алексеева, Л. С., Калёнов, С. В., Кузнецов, А. Е. (2014). Поиск наиболее активных микробных продуцентов наночастиц серебра. *Успехи в химии и химической технологии*, 5, 74—77.
- Apte, M., Sambre, D., Gaikawad, S., Joshi, S., Bankar, A., Kumar, A., & Zinjarde, S. (2013). Psychrotrophic yeast *Yarrowia lipolytica* NCYC 789 mediates the synthesis of antimicrobial silver nanoparticles via cell-associated melanin. *AMB Express*, 3(1), 32, 1—8. doi:10.1186/2191-0855-3-32.
- Badhusha, M. S. M., Mohideen, M. (2016). Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using *Saccharomyces Cerevisiae* with Different pH and Study of Antimicrobial Activity against Bacterial Pathogens. *Chem. Sci. Trans.*, 5(4): 906—911. doi:10.3109/21691401.2014.937870.
- Cheng, Z., Li, Z., Xu, J., Yao, R., Liang, S., Cheng, G., Zhou, Y., Luo, X., Zhong, J. (2019) Morphology-controlled fabrication of large-scale dendritic silver nanostructures for catalysis and SERS applications. *Nanoscale Res. Lett.*, 14:89. doi:10.1186/s11671-019-2923-0.
- Cunha, F. A., Cunha, M. da C. S. O., da Frota, S. M., Mallmann, E. J. J., Freire, T. M., Costa, L. S., Fechine, P. B. A. (2018). Biogenic synthesis of multifunctional silver nanoparticles from *Rhodotorula glutinis* and *Rhodotorula mucilaginosa*: antifungal, catalytic and cytotoxicity activities. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34(9). doi:10.1007/s11274-018-2514-8.
- Dinesh, K. S., Karthik, L., Gaurav, K., Bhaskara, R. K. V. (2011). Biosynthesis of Silver nanoparticles from Marine Yeast and Their Antimicrobial Activity Against Multidrug Resistant Pathogens. *Pharmacologyonline*, 3: 1100—11.
- Fernández, J. G., Fernández-Baldo, M. A., Berni, E., Camí, G., Durán, N., Raba, J., & Sanz, M. I. (2016). Production of silver nanoparticles using yeasts and evaluation of their antifungal activity against phytopathogenic fungi. *Process Biochemistry*, 51(9), 1306—1313. doi:10.1016/j.procbio.2016.05.021.
- Gurunathan, S., Qasim, M., Choi, Y., Do, J. T., Park, C., Hong, K., Kim, J. H., Song, H. (2020). Antiviral Potential of Nanoparticles — Can Nanoparticles Fight Against Coronaviruses? *Nanomaterials*, 10(9). doi: 10.3390/nano10091645.
- Iqtedar, M. (2019). Extracellular biosynthesis, characterization, optimization of silver nanoparticles (AgNPs) using *Bacillus mojavensis* BTCB15 and its antimicrobial activity against multidrug resistant pathogens. *Prep. Biochem. Biotechnol*, 2(49): 136—142. doi: 10.1080/10826068.2018.1550654.
- Jeremiah, S. S., Miyakawa, K., Morita, T., Yamaoka, Y., Ryo, A. (2020). Potent antiviral effect of silver nanoparticles on SARS-CoV-2. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 1(533): 195—200. doi:10.1016/j.bbrc.2020.09.018.
- Khan, N. T. et al. (2017). Biogenic Nanoparticles: An Introduction to what they are and how they are Produced. *Int J Biotech & Bioeng*, 3:3, 66—70. doi:10.25141/2475-3432-2017-3.0066.
- Mittal, A. K., Chisti, Y., Banerjee, U. C. (2013). Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnol. Adv.* 31, (3), pp. 346—356. doi: 10.1016/j.biotechadv.2013.01.003.

Nowack, B., Krug, H. F., Height, M. (2011). 120 Years of Nanosilver History: Implications for Policy Makers. *Environmental Science & Technology*, 45(4), 1177—1183. doi:10.1021/es103316q.

Salvadori, M. R., Monezi, T. A., Mehnert, D. U., Corrêa, B. (2019). Antimicrobial Activity of Ag/Ag₂O Nanoparticles Synthesized by Dead Biomass of Yeast and their Biocompatibility with Mammalian Cell Lines. *International Journal of Research Studies in Microbiology and Biotechnology (IJRSMB)*. Volume 5(1), PP 7—15. doi: 10.20431/2454-9428.0501002.

Selvakumar, R., Arul Jothi, N., Jayavignesh, V., Karthikaiselvi, K., Antony, G. I., Sharmila, P. R., Swaminathan, K. (2011). As(V) removal using carbonized yeast cells containing silver nanoparticles. *Water Research*, 45(2), 583—592. doi:10.1016/j.watres.2010.09.034.

Shu, M., He, F., Li, Z. et al. (2020). Biosynthesis and Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles Using Yeast Extract as Reducing and Capping Agents. *Nanoscale Res. Lett.* 15, 14. doi:10.1186/s11671-019-3244-z.

Soliman, H., Elsayed, A., Dyaa, A. (2018). Antimicrobial activity of silver nanoparticles biosynthesised by *Rhodotorula* sp. strain ATL72. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(3), 228—233. doi:10.1016/j.ejbas.2018.05.005.

Zachar, O. (2020). Formulations for COVID-19 Early Stage Treatment via Silver Nanoparticles Inhalation Delivery at Home and Hospital. *Science Open Preprints*. doi: 10.14293/S2199-1006.1.

Zhang, J., Zhao, H. (2009). Surfactant based synthesis of metal nanosystems. *Recent Advances in Nanoscience and Technology*, Pp 12—24. doi:10.1186/s11671-019-2923-0.

IMPACT OF THE COVID-19 PANDEMIC ON THE FUNCTIONING AND DEVELOPMENT OF UKRAINIAN ENTERPRISES

N. Skopenko, I. Yevsieieva-Severyna

National University of Food Technologies

Key words:

Pandemic
Changes
Risks
Risk management
Ukrainian enterprises
Functioning and
enterprise development

Article history:

Received 27.04.2021
Received in revised form
12.05.2021
Accepted 26.05.2021

Corresponding author:

N. Skopenko

E-mail:

skopnata67@gmail.com

ABSTRACT

The global COVID-19 pandemic has forever changed the approaches of doing business. With the COVID-19 crisis, fundamental changes in consumer behavior, supply chains, and routes to market became true. The article investigates the peculiarities of doing business in Ukraine during the COVID-19 pandemic. The basic problems faced by Ukrainian enterprises were determined and required an immediate response in order to ensure the further functioning and development. Changes in the organization of business activity had a significant impact on doing business. Importance of digitalization in business, creating a crisis management strategy, development of sustainable business models were emphasized. The pandemic has affected Ukrainian business to pay attention not only to the reorganization of production processes, but also to human capital issues (employees' emotional well-being). Most companies identifying these risks began to develop measures to minimize negative impact.

Identifying external risks, the significant impact have the risks of infectious diseases, climate change (extreme weather events), presence of weapons of mass destruction, biodiversity loss and natural resource crises. They increase the total level of entrepreneurial risk for Ukrainian entrepreneurs and foreign partners and require more timely adjustments of their activities. Internal risks (emotional exhaustion (employee burnout), overwork, lack of motivation, knowledge and skills, irrational organization of the production processes) can significantly reduce the indicators of operational efficiency and should be managed by Ukrainian enterprises. Ability to identify all existing risks, evaluate probability of their occurrence and take the appropriate measures of reducing (eliminating) the negative impact on business entities ensure effective functioning and further business development.

ВПЛИВ ПАНДЕМІЇ COVID-19 НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА РОЗВИТОК УКРАЇНСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ

Н. С. Скопенко, І. В. Євсєєва-Северина

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено особливості ведення бізнесу в умовах пандемії COVID-19. Визначено основні проблеми, які постали перед українськими підприємствами, і потребували негайного їх реагування з метою забезпечення подальшого функціонування та розвитку. Відображено ряд змін, які відбулися в діяльності господарюючих суб'єктів і суттєво відобразилися на веденні діяльності. Акцентовано увагу на необхідності проведення діджиталізації робочих процесів, розробки нових стратегій антикризового управління, впровадження стійких бізнес-моделей. Пандемія змусила український бізнес звернути увагу не тільки на перебудову виробничих процесів, а й на проблему в сфері людського капіталу (емоційна та психологічна стабільність працівників). Більшість компаній, ідентифікувавши існуючі ризики, почали розроблювати систему заходів щодо мінімізації їх негативного впливу.

Виявлено, що серед зовнішніх ризиків, найбільший вплив чинять ризики інфекційних захворювань, кліматичні зміни, існування зброї масового знищення, зменшення біорізноманіття та криза природних ресурсів. Вони посилюють загальний рівень підприємницького ризику як для українських підприємців, так і для партнерів за кордоном та потребують своєчасного коригування діяльності суб'єктів господарювання. Внутрішні ризики (емоційне вигорання працівників, перевантаження роботою, зниження мотивації, нестача знань і навичок роботи з новими інформаційними технологіями, нерациональна організація виробничих процесів) можуть суттєво зменшувати показники операційної ефективності та потребують значної уваги українських підприємств з метою управління ними. Вміння ідентифікувати всі наявні ризики, формувати набір найбільш імовірних ризиків, структурувати їх за критерієм негативного впливу на діяльність суб'єктів господарювання та розробляти програму мінімізації заходів їх настання, забезпечить підприємствам ефективне функціонування та подальший розвиток.

Ключові слова: пандемія, зміни, ризики, управління ризиками, українські підприємства, функціонування та розвиток підприємств.

Постановка проблеми. Трансформації, що відбуваються в економіці, характеризуються високим рівнем динамізму та швидкістю змін. Умови господарювання українських підприємств ускладнюються пандемією COVID-19 та викликають необхідність пристосовуватися до викликів сьогодення. Перед суб'єктами господарювання постало питання швидкої адаптації до ринкових змін і перебудови бізнес-процесів. У сучасних складних умовах багато українських підприємств різних галузей промисловості не змогли переорієнтувати власну роботу, змінити підходи в процесах господарювання, що не тільки негативно вплинуло на показники їх діяльності, але й призвело до банкрутства та ліквідації бізнесу.

Отже, актуальність підтверджується нагальною необхідністю осмислення впливу зовнішнього середовища, особливо сучасних викликів на діяльність українських підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процесам функціонування українських підприємств на сучасному етапі присвячені праці багатьох вітчизняних науковців, проте постійні ринкові зрушення, а особливо пандемія COVID-19, внесла свої корективи у діяльність господарюючих суб'єктів.

Розвиток українських підприємств на сучасному етапі забезпечується впровадженням інноваційних технологій, покращенням виробничих процесів, застосуванням найкращих практик господарювання. Саме такі напрямки роботи сприяють підвищенню конкурентоспроможності підприємств та можливості виходу на зовнішні ринки. Проте пандемія суттєво знизила інноваційну діяльність підприємств, і є суттєвою перешкодою для їх зростання (Ємцев, 2020).

Вітчизняні науковці (Marchenko & Danilova, 2019) наголошують на необхідності підвищення економічної безпеки функціонування українських підприємств та розробки комплексу заходів реагування на виклики сьогодення.

У сучасних умовах українські вчені (Мостенська & Юрій, 2019) зазначають, що особливо гостро постає питання забезпечення гнучкості та підвищення адаптивності підприємства до змін зовнішнього середовища, ефективного використання всіх внутрішніх ресурсів підприємства.

Науковці (Федулова & Джулай, 2020) розглядають основні ризики українських виробників від запровадження карантинних заходів відповідно до пандемії COVID-19. Підприємства постають перед проблемами збереження ділової активності, фінансової стійкості та робочих місць. Важливим питанням сьогодення є забезпечення безперервної роботи українських підприємств і збереження бренду роботодавця.

Дослідження негативних наслідків пандемії COVID-19 для країни та системи підприємництва, що характеризується скороченням глобального капіталу, зменшенням залучень інвестицій, зниженням фінансової стійкості підприємств, збільшенням рівня безробіття, порушенням глобальних довгострокових зв'язків торгівлі та постачання проводили українські вчені (Бергер & Борисенко, 2021).

Продовження карантинних обмежень і динамічність зовнішнього середовища спричиняє необхідність проведення подальших досліджень особливостей ведення бізнесу з огляду на сучасні виклики.

Метою статті є дослідження умов функціонування українських підприємств протягом 2020—2021 рр., ідентифікація ризиків, що ускладнюють процеси ведення бізнесу, розгляд заходів щодо мінімізації негативного впливу на роботу господарюючих суб'єктів.

Матеріали і методи. Матеріалами досліджень слугували опитування, проведені компанією Deloitte та установою ACC (The American Chamber of Commerce in Ukraine — Американська торговельна палата в Україні), звіт Антимонопольного комітету України за 2020 р., дані Київського міжнародного інституту соціології, результати досліджень Світового економічного форуму та власні дослідження авторів. Застосовано широкий спектр загальнонаукових і спеціальних методів економічних досліджень, зокрема узагальнення, статистичного аналізу, порівняння, систематизації.

Викладення основних результатів дослідження. Метою функціонування підприємств є задоволення ринкових потреб у певних видах продукції й отримання прибутку для забезпечення ефективної діяльності. Основним завданням, яке постає перед підприємствами, є координація та оптимізація в часі та просторі всіх матеріальних і трудових елементів виробництва з метою випуску в певні строки необхідної споживачам продукції з найменшими витратами за умови належної якості. Реагування на виклики сьогодення, перебудова бізнес-процесів є необхідною складовою забезпечення конкурентоспроможності та сталого розвитку вітчизняних підприємств.

Сучасні умови господарювання вимагають швидкої реакції та пристосування до змін зовнішнього середовища. Враховуючи опитування Федерації роботодавців України (рис. 1), найбільшою проблемою для українських підприємств є негативний вплив обмежень на діяльність їх партнерів та нездійснення ними господарської діяльності.



Рис. 1. Основні проблеми бізнесу під час пандемії COVID-19, складено на основі
(Звіт антимонопольного комітету України, 2020)

Аналізуючи ринкове середовище господарювання, слід зазначити, що прослідковуються тенденції до зниження темпів розвитку більшості суб'єктів господарювання, які й пояснюються їх неспроможністю реагувати на виклики сьогодення. Суттєвий вплив чинять несвоєчасність та/або відсутність поставок, нестача обігових коштів, зростання цін на сировину та матеріали, що гальмують процеси розвитку підприємств. Результати представленого дослідження підтверджують відчутний розрив ланцюжків постачання та призупинення великої кількості виробництв, що призводить до втрати доходів і банкрутства малого та середнього бізнесу.

Найбільш суттєві збитки у зв'язку з введенням карантинних заходів під час пандемії COVID-19 отримали розважально-культурні заклади (театри, кінотеатри, виставки, різноманітні розважальні заходи, фітнес-клуби тощо) та готельно-ресторанний бізнес, що відобразилося повною зупинкою діяльності або спадом виручки на 50—80%. Туристичні послуги, сфера надання косметологічних послуг також відчули спад більш ніж на 50% (Хроніки кризи, 2020).

Водночас, не зазнала суттєвих збитків, а навіть збільшила свою дохідність торгівля продуктами харчування, медикаментами, засобами гігієни, інтернет-торгівля та доставка товарів до споживача. Деякі сфери бізнесу, щоб не втратити позиції, змогли організувати роботу дистанційно, як, наприклад, сфера освітніх послуг — онлайн освіта.

Проте найбільшими змінами при веденні бізнесу, відповідно до досліджень, які були проведені компанією АСС, вітчизняні керівники вважають запровадження гібридного робочого процесу, діджиталізацію робочих процесів, розробку нових стратегій антикризового управління, впровадження стійких бізнес-моделей (рис. 2).



Рис. 2. Основні зміни в бізнесі під час пандемії COVID-19, складено на основі (Результати опитування, 2021)

Діджиталізація робочих процесів стала необхідністю для забезпечення подальшого функціонування українських підприємств. Так, компанія АВ INBEV EFES Україна запустила нову B2B платформу «ВиBEERрай» для роботи з партнерами, яка в умовах пандемії сприяла швидкій адаптації підприємства до мінливих умов та створенню можливості не втратити досягнуті обсяги продажу продукції. Платформа надає можливість великим торговельним мережам, роздрібним магазинам, ресторанам і барам оформити замовлення на продукцію в будь-який

час, а також отримувати онлайн-консультації за всіма товарними позиціями (Компанія AB INBEV EFES Україна, 2021). Це сприяє скороченню часу на оформлення замовлень, отриманню можливості стати учасником програми лояльності. В березні 2021 р. — 15% обсягів реалізації продукції здійснювалося через платформу «ВиBEEРрай». Метою компанії є досягнення збільшення реалізації до кінця року до 30%.

Деякі компанії, які мають значні фінансові ресурси на розвиток цифрових технологій, підходять до цього питання комплексно, роблячи цифрову трансформацію наскрізною — від виробництва до управління персоналом.

Так, наприклад, портфель цифрових ініціатив проєктного офісу «Метінвест Діджитал» (найбільшої металургійної компанії України) щорічно налічує приблизно 100 проєктів і понад 800 заявок на вдосконалення систем, що вже існують (Тотальна цифровізація, 2021). Процес управління цифровою трансформацією Міжнародної групи компаній Метінвест, до складу якої входить понад 30 підприємств, здійснюється на трьох рівнях: Business Engagement, Solutions Delivery, Operations.

На рівні Business Engagement діджитал-партнери відповідають за формування потреб бізнесу в цифрових перетвореннях, а також первинну оцінку цифрових ініціатив. Business Engagement відповідає за взаємодію «Метінвест Діджитал» і підприємств групи компаній Метінвест. До цього процесу залучені спеціалісти, що одночасно мають справу з різними напрямками — бізнесом, впровадженням технологій, виробництвом та управлінням проєктами. Вони глибоко розуміють специфіку виробничих та бізнес процесів підприємств групи компаній Метінвест. На цьому рівні формуються й оцінюються потреби та ідеї бізнесу щодо цифровізації, зароджуються майбутні проєкти.

Для управління портфелем впроваджень на рівні Solutions Delivery створено власний проєктний офіс для опрацювання та імплементації IT-проєктів. На цьому ж рівні функціонує R&D Co-Innovation центр, який відповідає за можливість використання нових технологій в різних напрямках бізнесу групи компаній Метінвест. Спеціалісти центру тестують технології штучного інтелекту, роботизації процесів тощо.

На операційному рівні (Operations) компанія відповідає за підтримку впроваджених технологій і весь периметр надання IT-послуг для групи компаній Метінвест, а саме: розвиток IT-інфраструктури, інформаційних систем, цифрового робочого місця та забезпечення інформаційної та кібербезпеки (Тотальна цифровізація, 2021). Для забезпечення цифровізації працює команда професійних IT-спеціалістів, потреба в розширенні кількості яких постійно зростає.

Залучення таких IT-фахівців є ще одним фактором ризику, адже попит на кадри вдвічі вищий, ніж до пандемії, в той час як вартість таких спеціалістів за сучасних викликів сьогодення підвищилась на 20—30% (Дудко & Кучер, 2021).

Забезпечення гібридного робочого процесу стало наступним викликом для працівників, адже перевагою від постійної роботи за комп'ютером, соціальна ізоляція та нестача живого спілкування негативно позначилося на психологічному стані працівників вітчизняних підприємств. Особливе занепокоєння щодо ведення бізнесу у 2021 р. викликано фактором безпеки співробітників, що пояснюється віддаленою роботою, багатозадачністю, розмитими межами між робочим часом і приватним життям, цифровою втомою, відсутністю особистого спілкування та командної роботи (обміном думок та отриманням порад) тощо (рис. 3).



Рис. 3. Основні негативні обставини, що постали перед працівниками в умовах карантину 2020—2021 рр., складено на основі (Результати опитування, 2021)

За даними Київського міжнародного інституту соціології, частка українців, які пережили хоча б одну стресову ситуацію, зросла у 2020 р. до 67% (Платонова, 2021). Пандемія змусила український бізнес звернути увагу не тільки на фізичне здоров'я, але й на проблему емоційної та психологічної стабільності працівників.

Дослідження компанії ACC та DELOITTE ще раз підтвердили існування викликів у сфері людського капіталу, які мали значний вплив на ефективність діяльності підприємств протягом карантину в Україні (середнє значення за шкалою від 1 до 5, де 1 — найменш суттєвий виклик, 5 — найбільш суттєвий виклик) (рис. 4).

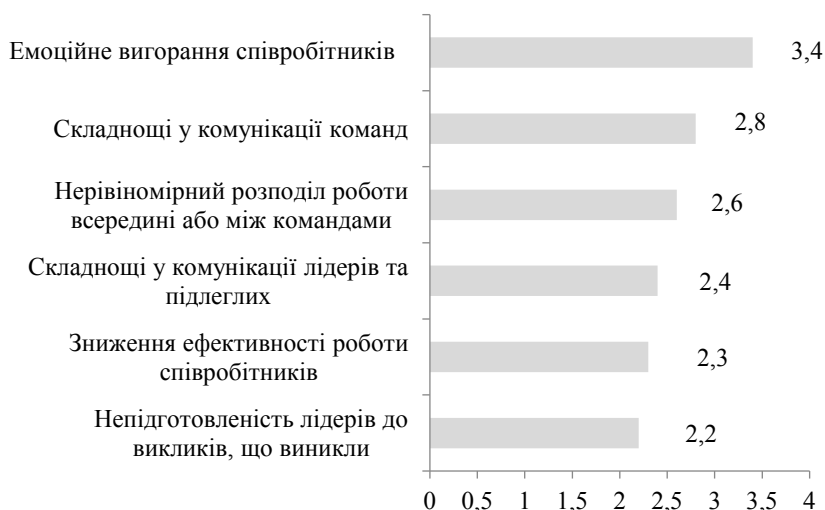


Рис. 4. Виклики у сфері людського капіталу, складено на основі (Опитування щодо впливу COVID-19, 2020)

Більшість компаній, ідентифікувавши зазначені ризики, почали розроблювати систему заходів щодо мінімізації негативного впливу, адже персонал — найважливіший та найцінніший ресурс будь-якої компанії.

Одна з найбільших вітчизняних аграрних компаній МХП (28000 працівників) запустила програму, спрямовану на забезпечення благополуччя (wellbeing) своїх працівників під час пандемії, яка складається з чотирьох компонентів: фізичне здоров'я, соціальне, емоційне, фінансове благополуччя. Так, до кризи в МХП працювало чотири психологи, зараз — дев'ять. На регулярних тренінгах вони вчать керувати емоціями під час віддаленого спілкування і домагатися результату без тиску й гострих конфліктів. Основними метриками лояльності персоналу до компанії є залученість до програми і рівень суб'єктивного задоволення життям (Платонова, 2021).

Банк ПУМБ також запустив програму емоційного здоров'я персоналу, зробивши акцент на освіту. Банк відкрив спеціальний розділ на корпоративному сайті, почав запрошувати лекторів і проводити заходи, прив'язані до психологічної проблематики. Важливим напрямом цих програм є також залучення працівників до участі у спортивних заходах, які сприяють благодійності. Так, за біг на дистанцію більше ніж 3 км банк перераховує 20 грн до благодійного фонду «Таблеточки» (Платонова, 2021). Залучення працівників до соціально важливих програм, у поєднанні з покращенням фізичної форми, створює позитивне ставлення персоналу до компанії.

Передбачення настання ризиків, їх ідентифікація, оцінка та управління ними забезпечує ефективне функціонування підприємств та їх розвиток. Враховуючи сучасні умови господарювання, найбільший вплив на діяльність українських підприємств серед зовнішніх ризиків чинять такі:

- епідеміологічний ризик (поява та розповсюдження хвороби дуже швидкими темпами);

- соціально-політичний ризик — ризик несприятливих соціально-політичних змін у країні, які зумовлюють погіршення загального стану економіки та чинять негативний вплив на господарську діяльність підприємств (нестабільна політична ситуація в країні; нестабільність національної валюти; військові дії на сході України тощо).

Відповідно до звіту Світового економічного форуму про глобальні ризики 2021 р. вважаємо за доцільне виділити основні з них, що чинять вплив на економіку в цілому та на функціонування й розвиток українських підприємств зокрема. За ймовірністю настання та силою впливу було виділено такі ризики (табл. 1).

Таблиця. Найбільш характерні ризики за ймовірністю виникнення та силою впливу в 2021 р.

Ранг ризику		Найменування ризику, характеристика та опис наслідків
За ймовірністю виникнення	За силою впливу	
1	2	3
1	8	Екстремальні погодні умови Аномальна спека чи похолодіння сьогодні стають регулярними та серйозними ризиками для суспільства й економіки і мають руйнівні наслідки, що потребують значних економічних витрат та пошуку гуманітарної допомоги.

Продовження таблиці

1	2	3
2	2	Кліматичні загрози (зміни клімату) З кожним роком температура повітря підвищується, вчені прогнозують, що надалі зміна клімату буде ще сильнішою, а погодні катастрофи — більш інтенсивні. Наслідки зміни клімату призведуть до надзвичайної ситуації на планеті, яка спричинить людські втрати, соціальну та геополітичну напруженість і негативні економічні наслідки.
3	6	Шкода навколишньому середовищу Ризик вже два роки займає місце в топ-5 ризиків за ймовірністю настання. Сьогодні існує значна кількість підприємств, які щодня завдають шкоди навколишньому середовищу. Крім того, існує велика ймовірність, що ці показники можуть змінитися на гірше через різні непередбачені обставини.
4	1	Інфекційні хвороби COVID-19 у 2020 р. не лише призвів до широкомасштабних людських втрат, а й надалі стримує економічний розвиток суб'єктів господарювання та країн, посилює нерівність у розподілі благ, відбирає ресурси, необхідні для розв'язання інших важливих проблем охорони здоров'я.
5	4	Зменшення біорізноманіття Наслідками стануть крах систем харчування та охорони здоров'я й порушення цілих ланцюгів постачання продуктів.
—	3	Зброя масового знищення Використання зброї масового знищення має безповоротні наслідки.
—	5	Кризи природних ресурсів На сьогодні все більше постає питання зменшення обсягів природних ресурсів, що призводить до великих негативних наслідків як для окремих суб'єктів господарювання та економіки країн, так і для розвитку в цілому.

Примітка: складено авторами за (The Global Risks Report, 2021).

Зовнішні ризики не піддаються управлінню, проте вони посилюють загальний рівень підприємницького ризику як для українських підприємців, так і для партнерів за кордоном та потребують своєчасного коригування діяльності суб'єктів господарювання.

Внутрішні ризики (емоційне вигорання працівників, перевантаження роботою, зниження мотивації, нестача знань і навичок роботи з новими інформаційними технологіями, нераціональна організація виробничих процесів) можуть суттєво зменшувати показники операційної ефективності та потребують значної уваги українських підприємств з метою управління ними.

Вміння ідентифікувати всі наявні ризики, формувати набір найбільш імовірних ризиків, структурувати їх за критерієм негативного впливу на діяльність суб'єктів господарювання та розробляти програму мінімізації заходів їх настання забезпечить підприємствам ефективне функціонування та подальший розвиток.

З огляду на вплив наявних ризиків, ризик-менеджери налагоджують роботу щодо розробки системи антикризового управління підприємством, що направлена на усунення можливих і наявних проблем у його діяльності шляхом розроблення і реалізації спеціальної програми з використанням усього потенціалу

сучасного менеджменту. У рамках антикризового управління необхідним є вирішення суперечності в процесі розвитку підприємства в умовах кризового становища або його загрози при дії кризоутворюючих чинників через обмеження ресурсів.

У свою чергу, стратегічне управління передбачає надання необхідної інформації керівникам підприємств для прийняття рішень про перспективність і доцільність подальшого розвитку підприємства.

Висновки

Виклики сьогодення потребують від українських підприємств негайного реагування, пристосування до нових умов господарювання, що забезпечить втримання досягнутих позицій на ринку та подальшого зростання. Вчасна адаптація до змін зовнішнього середовища сприяє отриманню додаткових переваг шляхом розробки індивідуальних програм, що враховують галузеву специфіку роботи підприємств. Їх реалізація має не тільки економічне навантаження, але соціальну та екологічну спрямованість.

Перспективою подальших досліджень може стати розробка антикризових заходів для українських підприємств різних галузей промисловості в умовах кризових ситуацій сьогодення (пандемія COVID-19, воєнні дії на сході України, анексія Криму, загострення відносин з Російською Федерацією тощо).

Література

Бергер, А., Борисенко Л. (2021). Наслідки пандемії COVID-19 для розвитку країни та системи підприємництва. *Економіка та управління підприємствами*, 51, 87—93.

Дудко, В., Кучер, Т. (2021). Порожні крісла. В українському ІТ безпрецедентний брак кадрів. Що робити? *Forbes*, 4, 9.

Смцев В. (2020). Активізація інноваційної діяльності як шлях до підвищення конкурентоспроможності підприємства. *The Scientific Heritage*, 55, 31—34.

Звіт Антимонопольного комітету України. (2020). Взято з: <https://amcu.gov.ua/storage/app/uploads/public/605/4a0/e26/6054a0e268fc0702551413.pdf>.

Компанія AB INBEV EFES Україна запустила нову платформу для роботи з партнерами. Які можливості вона відкриває для бізнесу? (2021). *Forbes*, 3, 63.

Мостенська, Т., Юрій, Е. (2019). Інструменти антикризового управління. *Український журнал прикладної економіки*. Т. 4, 1, 64—72.

Опитування щодо впливу COVID-19 на бізнес в Україні. 6 місяців карантину. (2020). Взято з: https://chamber.ua/wp-content/uploads/2020/10/AmCham_Deloitte_COVID19_Presentation_UA_FINAL.pdf.

Платонова, А. (2021). Вигорілі на роботі. *Forbes*, 3, 156—158.

Результати опитування. Бізнес-клімат в Україні: рік локдауну. (2021). Взято з: https://chamber.ua/wp-content/uploads/2021/03/AmCham_CITI_survey_2021_UA_FINAL.pdf

Тотальна цифровізація. Metinvest Digital. (2021). *Forbes*, 3, 109.

Федулова, І., Джулай, М. (2020). Економічні наслідки пандемії Covid-19 для підприємств України. *Вісник КНТЕУ*, 4, 74—91.

Хроніка кризи бізнесу: кого в Україні найбільше накриє шторм корона-вірусу. (2020). Взято з: <https://www.epravda.com.ua/publications/2020/03/19/658296/>.

Marchenko, V., Danilova, E. (2019). Methodology of Structural and Functional Approach to Management of the Enterprise Economic Safety. *Journal of Advanced Research in Law and Economics*, 2(40), 488—496.

The Global Risks Report. (2021). Взято з: http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2021.pdf.

DEVELOPMENT OF THE DOMESTIC MEAT AND MEAT PRODUCTS MARKET: PROBLEMS AND PRIORITIES

L. Strashynska, O. Sheremet

National University of Food Technologies

Key words:

Meat and meat products market
Raw material base
Consumer demand
Production
Level of consumption
Meat processing industry

Article history:

Received 01.04.2021
Received in revised form 13.04.2021
Accepted 28.04.2021

Corresponding author:

L. Strashynska
E-mail:
vip1967@ukr.net

ABSTRACT

The article examines the domestic market of meat and meat products in terms of major development trends. Based on the balance of meat and meat products, the indicators of production, exports and imports are analyzed. The raw material base of the industry, where the leading position is occupied by poultry, which will continue to be the basis of the meat diet of the average Ukrainian, has been studied.

It is proved that the domestic market of meat and meat products is characterized by weak consolidation of major producers, a high level of competition and significant diversification. The main market players are analyzed, each of which, producing the entire range of products, occupies a leading position in various product groups. It is proved that during the crisis the most successful were those producers who before the crisis began to form a vertically integrated chain — from raising livestock to the sale of finished products.

The fund of consumption of meat and meat products per capita per year by regions was analyzed and the most priority areas were identified.

The main trends and factors influencing the level of consumption are analyzed, the most important of which were the level of meat and meat products production and the ratio of prices and purchasing power of the population. The economic situation in the country and the seasonality of production also have a significant impact. Trends in the naturalization of food have influenced the development of the market by increasing demand for expensive meat products and chilled meat products. It was found that the demand for other products depends on the price and freshness of products.

The main strategic goals and objectives for the development of the domestic market of meat and meat products are substantiated.

Given that the production of meat and meat products is one of the most important and priority areas of the food market, it is emphasized that the importance of the meat processing industry lies in the balanced and interconnected functioning of different subsystems, namely production, processing and sale of meat products, meeting the needs of the population in meat and products of its processing.

РОЗВИТОК ВІТЧИЗНЯНОГО РИНКУ М'ЯСА ТА М'ЯСОПРОДУКТІВ: ПРОБЛЕМИ І ПРІОРИТЕТИ

Л. В. Страшинська, О. О. Шеремет

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено вітчизняний ринок м'яса і м'ясопродуктів з точки зору основних тенденцій розвитку. На основі балансу м'яса та м'ясних продуктів проаналізовано показники виробництва, експорту та імпорту. Досліджено сировинну базу галузі, з'ясовано, що переважає м'ясо птиці, яке у майбутньому складатиме основу м'ясного раціону пересічного українця.

Визначено, що вітчизняний ринок м'яса та м'ясних продуктів відрізняється слабкою консолідацією основних товаровиробників, високим рівнем конкуренції та значною диверсифікацією. Проаналізовано основних гравців ринку, кожен з яких, виробляючи весь асортимент продукції, займає лідируючі позиції за різними групами товарів. Доведено, що в період кризи найбільш успішними виявилися ті виробники, які ще до кризи почали формувати вертикально інтегрований ланцюг — від вирощування худоби до реалізації готових виробів.

Проаналізовано фонд споживання м'яса та м'ясних продуктів у розрахунку на одну особу за рік по областях й визначено найбільш пріоритетні області. Досліджено основні тенденції та чинники, які впливають на рівень споживання, найвагомішими з яких виявилися рівень виробництва м'яса та м'ясопродуктів і співвідношення рівня цін та купівельної спроможності населення. Також значний вплив здійснює економічна ситуація в країні та сезонність виробництва. Тенденції до натуралізації продуктів харчування вплинули на розвиток ринку зростанням попиту на дорогу м'ясну продукцію й охолоджені м'ясні напівфабрикати. З'ясовано, що попит на іншу продукцію залежить від ціни та свіжості продукції.

Обґрунтовано основні стратегічні цілі та завдання щодо розвитку вітчизняного ринку м'яса та м'ясних продуктів. Зважаючи на те, що виробництво м'яса і м'ясних продуктів є одним з найбільш важливих і пріоритетних напрямів продовольчого ринку, наголошено, що значимість м'ясопереробної галузі полягає у збалансованому та взаємопов'язаному функціонуванні різних підсистем — виробництва, переробки та реалізації м'ясної продукції, забезпечуючи потреби населення в м'ясі та продуктах його переробки.

Ключові слова: ринок м'яса та м'ясопродуктів, сировинна база, споживчий попит, виробництво, рівень споживання, м'ясопереробна галузь.

Formulation of the problem. Meat production is one of the most important and priority areas of the food market in different countries around the world, so the situation on the meat and meat products market is constantly monitored and analyzed. The importance of the meat processing industry lies in the balanced and interconnected functioning of the various branches of the system of production, processing and sale of meat products, which meets the needs of the population in meat and meat products. At the present stage, the activity of meat processing enterprises in Ukraine is complicated by the lack of quality raw materials, lack of a balanced logistics system, potential

growth of energy prices, increased competition from imported products, lack of strategic management as one of the most effective and progressive means of enterprise management. As a result, this leads to a decrease in production and increase its cost.

Analysis of recent research and publications. Prominent economists, in particular O. Butnik-Siversky, N. Vasyutkina, O. Goychuk, L. Deyneko, L. Dzhemelinska, M. Dolishniy, O. Dragan, A. Zainchkovsky, M. Kalinchyk, N. Karpenko, P. Korenyuk, V. Kukhta, O. Luciy, L. Marmul, T. Mostenskaya, M. Pugachev, M. Sychevsky, S. Stasinevich, V. Topikha, A. Fursa, O. Shebanina and many others devoted their works to the problems of increasing the efficiency of functioning and development of domestic food markets. However, a significant number of issues related to the study of the domestic market of meat and meat products in modern conditions of development, remains out of the attention of researchers, and some problems require more in-depth research and delineation of their solutions.

The purpose of the article is to study the domestic market of meat and meat products in terms of the current state of its development and justify the priority areas of long-term operation.

Presentation of the main results of the study. The market of meat and meat products of Ukraine, despite all the economic difficulties, shows a fairly stable development, there is a tendency to increase the production of sausages. Ukrainian producers enter the markets of other countries with their products, gradually increasing their export opportunities. This is facilitated, in particular, by the fact that the market of meat products in Ukraine has a large and diverse range that satisfies the tastes of different consumers. Also, the raw material base available in Ukraine allows to ensure the smooth operation of enterprises that produce meat products. Long-standing traditions of consumption of meat processed in special ways in the form of sausage also have a positive effect on the stability of the domestic market.

Table 1. Balance of meat and meat products by main types (Ukrainian meat and sausage market: analysis of 2018, 2019)

	2017					2018				
	meat (thousand tons)	including (thousands of tons)				meat (thousand tons)	including (thousands of tons)			
		beef and veal	pork	poultry meat	other types of meat		beef and veal	pork	poultry meat	other types of meat
Production	2318	364	736	1185	33	2355	359	703	1259	34
Change in inventories (at the end of the year)	-5	-1	-2	-2	0	-3	-2	-3	2	0
Import	233	13	95	120	5	283	14	128	133	8
Total resources	2556	378	833	1307	38	2641	375	834	1390	42
Export	351	59	14	272	6	399	56	9	330	4
Spent on feed, losses, etc.	10	1	5	3	1	10	1	4	4	1
Consumption fund	2195	318	814	1032	31	2232	318	821	1056	37
per 1 person, kg	51.7	7.5	19.2	24.3	0.7	52.8	7.5	19.4	25.0	0.9

As show the data of table 1 in 2018, meat production amounted to 2355 thousand tons, which includes 359 thousand tons of beef and veal, 703 thousand tons of pork, 1259 thousand tons of poultry and 34 thousand tons of other types of meat. This is 37 thousand tons more than in 2017, and only due to the increase in poultry production (from 1185 thousand tons to 1259 thousand tons).

Accordingly, the consumption fund increased from 2195 thousand tons to 2232 thousand tons, mainly due to increased consumption of pork and poultry.

Imports for the year increased almost 1.21 times and the largest volumes of imports are observed for poultry meat (133 thousand tons) and pork (128 thousand tons).

The value of exports increased by 48 thousand tons, mainly due to poultry meat (2017 — 272 thousand tons, 2018 — 330 thousand tons), and the least “exported” species was pork (2017 — 14 thousand tons, 2018 — 9 thousand tons).

Exports of Ukrainian sausages also increased, but in 2019 its rate decreased significantly. Obviously, the combination of sharp growth in imports and slowing down the dynamics of exports led to the stagnation of domestic production of sausages last year. Its volume was 0.1% lower than in 2018. However, the market of sausages in Ukraine continues to remain for domestic producers — the share of imported sausages is about 1% of the total. The increase in the supply of raw meat indicates the presence in our country of a steadily growing raw material base for further increase in the production of sausages (The market of meat and meat products in Ukraine for 2017—2019 Ukrainian Agrarian Association, 2020).

The market of meat products in Ukraine directly depends on how much a farmer can grow and then supply meat. As a rule, the growth of sales for slaughter of farm animals has a positive effect on the growth and development of the market of sausages.

According to research by Pro-Consulting, the volume of farm animals sold for slaughter in 2019 increased by 4.8% compared to 2018. At the same time, according to the State Statistics Service of Ukraine, the number of cattle on May 1, 2019 amounted to 3.7 million heads, which is 3.5% less than on May 1, 2018. The number of pigs during this period also decreased by 0.4% and amounted to 6.1 million heads; the number of sheep and goats also decreased to 1.57 million heads or by 2.6%. Poultry, on the other hand, increased by 4.6% to 210.3 million. For comparison, the largest number of cattle in 2017 was in Brazil — almost 215 million, followed by India — 185 million, the United States — almost 94 million, and China — a little more than 83 million head of cattle (The market of meat and meat products in Ukraine for 2017—2019 Ukrainian Agrarian Association, 2020).

Meat production volumes have had a corresponding effect on meat consumption.

Table 2. Meat and meat products consumption fund (per person per year; kilograms)
(Ukrainian meat and sausage market: analysis of 2018, 2019)

	Years								Difference 2018, %	
	2000	2005	2010	2014	2015	2016	2017	2018	Compared to 2000	Compared to 2017
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ukraine	32.8	39.1	52	54.1	50.9	51.4	51.7	52.8	160.98	102.13
Autonomous Republic of Crimea	28.9	39.4	55.4	...	...	...	...	...	...	...
Regions										
Vinnitsia	38.8	37.8	50.3	55.7	51.3	52.6	54.4	55.2	142.27	101.47

Continuation of Table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Volyn	34.1	43.2	50.2	52.5	50.3	50.4	51.6	54.4	159.53	105.43
Dnipropetrovsk	26.8	42.2	56.5	61	58.8	61.9	64.1	65.9	245.90	102.81
Donetsk	27.5	47.1	59.8	59.5	53.3	54.3	50.7	49.8	181.09	98.22
Zhytomyr	36.2	33.1	46.1	50.7	48.7	48.9	50.2	52.7	145.58	104.98
Transcarpathian	37.5	35.4	47.3	49.3	45.7	47.6	47	48.7	129.87	103.62
Zaporozhye	37.8	39.2	51.9	54.9	51.6	51	52.2	54.9	145.24	105.17
Ivano-Frankivsk	29.8	32.8	40.5	43.6	41.7	42.6	43.9	46.7	156.71	106.38
Kyiv	33	43.3	67.6	68.5	63.3	62.5	63.8	64	193.94	100.31
Kirovograd	39.6	40.6	53.6	56.5	53.2	53.1	54.3	55.8	140.91	102.76
Luhansk	22.9	34.6	43.4	45.9	37.5	39.6	36.3	39.8	173.80	109.64
Lviv	32.1	36.7	45.9	47	47	48.8	50.7	50.4	157.01	99.41
Mykolaiv	36	35.4	46.9	48.2	44.2	46.6	48.1	54.6	151.67	113.51
Odessa	29.1	31.9	44.3	49	48	47.2	48	48.5	166.67	101.04
Poltava	36.6	38	52.8	53.5	49.6	50.7	50.9	51.1	139.62	100.39
Rivne	41.5	39.8	48.2	45.8	46.1	48.3	46.4	46	110.84	99.14
Sumy	40.8	39.8	46.2	49.7	48.6	47.3	47.6	47.9	117.40	100.63
Ternopil	34.6	36.7	45.5	47.5	47.9	46.6	47.5	47	135.84	98.95
Kharkiv	33.6	40.4	55.1	56.2	52.8	51.2	52	52.1	155.06	100.19
Kherson	36.4	38.6	47.2	53.6	50.9	52.6	53.1	53.5	146.98	100.75
Khmelnysky	35.8	34.3	44.6	49.8	48.6	48.9	49	50.5	141.06	103.06
Cherkasy	39.9	43.1	53.2	52.8	53	50.5	48.5	50.7	127.07	104.54
Chernivtsi	26.4	32.9	42.8	44.9	41.2	44.3	42.4	44	166.67	103.77
Chernihiv	38	37.4	46	49.5	45.8	46.3	48.1	51.3	135.00	106.65

After analyzing the data in table 2, it can be seen that the leaders in the consumption of meat and meat products in 2018 are definitely such areas as Dnipropetrovsk (65.9 kg per person per year) and Kyiv (64 kg per person per year). The range of values from 50 to 60 kg consists of such areas as Kirovograd (55.8 kg), Vinnytsia (55.2 kg), Zaporizhia (54.9 kg), Mykolaiv (54.6 kg), Volyn (54.4 kg). This range also includes Kherson (53.5 kg), Zhytomyr (52.7 kg), Kharkiv (52.1 kg), Chernihiv (51.3 kg), Poltava (51.1 kg), Khmelnytsky (50.5 kg), Cherkasy (50.7 kg), Lviv (50.4 kg). The following regions made up the range up to 50 kg: Donetsk (49.8 kg), Transcarpathian (48.7 kg), Odesa (48.5 kg), Sumy (47.9 kg), Ternopil (47 kg), Ivano-Frankivsk 46.7 kg, Rivne (46 kg), Chernivtsi (44 kg) and the lowest indicator in Ukraine in terms of consumption of meat and meat products in 2018 was observed in Luhansk region (39.8 kg).

Among the values of deviation from 2018 to 2000, the largest is 245.90% of Dnipropetrovsk region, and the smallest — 110.84% of Rivne region. The largest percentage of deviations from 2018 to 2017 is 113.51% of the Mykolaiv region and the lowest — 98.22% of the Donetsk region, 99.41% of the Lviv region and 98.95% of the Ternopil region.

In general, in Ukraine there is an increase in consumption of meat and meat products, for example, in 2000 this value was 32.8 kg per person per year, in 2005 it was 39.1 kg per person per year. The highest value this figure reached in 2014 — 54.1 kg and by 2016 had declined to 51.7 kg per person per year. In 2018, consumption amounted to 52.8 kg per person per year and 161% deviation by 2000, respectively 102.1% by 2017. The lowest consumption of meat and meat products in Ukraine per capita was observed in 2000 (32.8 kg).

In Ukraine as a whole, the following dynamics of meat and meat products is observed: if in 2000 this figure was 1611 thousand tons, in 2008 it increased to 2384 thousand tons. Then consumption declined and in 2018 amounted to 2232.1 thousand tons, which almost corresponded to consumption in 2014 (2325.4 thousand tons).

Consumption of meat and meat products is influenced by many factors. However, the most important of them are the level of meat and meat products production and the ratio of the price level and the purchasing power of citizens. This is evident from the fact that in addition to the insufficient, according to the rational norm, consumption of meat and meat products, Ukrainians do not follow the recommended proportions by type of meat. If according to the norm we have to consume 31.2 kg of beef, 27.2 kg of pork, 16 kg of poultry meat, as well as 5.6 kg of other meat per year, then in fact in 2019 we consumed only 8 kg of beef, pork — 19 kg, and poultry — 23.6 kg (Review of the market of sausages in Ukraine 2020, 2020). That is, the more expensive types of meat — beef and pork, are replaced by cheaper chicken, and at its expense the consumption of meat and meat products is ensured. Accordingly, producers are reducing the production of expensive meats and increasing the production of cheaper ones.

As for the prices of meat products on the domestic market, the general economic situation affects the cost of production. As a result of higher tariffs for electricity, gas and water, reduction of livestock, prices for sausages and meat products also increased.

In addition, the market of sausages in Ukraine varies depending on the season. As a rule, in winter the volume of sausage production is reduced, and with the beginning of spring producers increase the number of products. In autumn, there is again some reduction in the production of sausages.

First of all, consumers of the sausage market are those who choose this type of product because it requires a minimum of cooking time. A characteristic feature of the market is the fact that the market of meat products in Ukraine is largely represented by sausage, as well as sausages and frankfurters, which are instant meat products. The largest group that consumes cooked sausage, sausages and hot dogs are retirees and students.

After analyzing the production and consumption of meat / meat products of all kinds and determining how the dynamics of these indicators changed during 2017—2019, we have the following trends:

1) the amount of meat consumption per year by one Ukrainian has hardly changed in two years and fluctuates slightly: 2017 — 48.98 kg (4.08 kg per month), 2018 — 48.45 kg (respectively — 4.04 kg), 2019 — an average of 3.8 kg of meat per month;

2) the overall structure of annual consumption is also stable, it is dominated by the share of poultry meat. It is half of the diet of ordinary Ukrainians and its share is growing: 2017 — 24.34 kg per person (49.7% of total consumption per year), 2018 — 25.15 kg (51.9%), January—April 2019 — 8.24 kg per month (54.3%). It is important that the largest Ukrainian producer of poultry meat is the agro-industrial holding “Myronivsky Khliboproduct”. In addition to the domestic market, poultry farmers are actively developing foreign markets;

3) the three types of meat from the annual diet of Ukrainians have remained virtually unchanged in recent years. In addition to poultry meat, it includes:

- pork: in 2017 — 13.8 kg (6.76%), in 2018 — 12.6 kg (6.1%) and in 2019 — 13 kg (1.97%);

- beef: in 2017 — 3.09 kg (6.3%), in 2018 — 5.4 kg (2.62%) and in 2019 — 4.8 kg (0.73%) (The market of meat and meat products in Ukraine for 2017—2019 Ukrainian Agrarian Association, 2020).

The market of sausage products of Ukraine is characterized by weak consolidation, the level of competition among meat processing enterprises is very high. To increase competitiveness, as well as due to significant fluctuations in raw material prices, key meat processing companies are trying to create a full production cycle with well-established raw material supply channels and their own livestock units. Due to the specifics of this type of product, the sale of meat products is limited to the location of the manufacturer and the surrounding regions. Specially equipped equipment is needed to deliver sausages and meat products to remote areas. Therefore, only large companies become producers of national brands in the sausage market. In general, the market of sausages is quite diversified, and one producer accounts for no more than 7% of the market. The total number of sausage producers is about 600, and in the summer their number decreases slightly due to the disappearance from the market of small producers who do not have refrigeration equipment for storage of finished products.

Among the largest producers should be noted LLC “Globinsky meat-packing plant”, PJSC “Gorlovsky meat-packing plant”, LLC “Meat factory “Favorite”, LLC “Meat factory “Jubilee”, PJSC “Meat factory “Yatran”, LLC “SMP”, LLC “Index”, PJSC “Kremenchukmyaso”, MPZ “Kolos”, LLC “Europroduct”, PJSC “Ternopil Meat Plant” and others. Each of the manufacturers, producing a full range of sausages, occupies a leading position in various product groups (Top 10 meat processors of Ukraine, 2015).

The production of sausages, in particular cooked sausages, is characterized by high profitability, which is achieved through the use of various recipes and regulation of quality indicators. During the crisis, mainly small producers were affected, and many large ones managed to increase production. The most successful were the producers of meat and sausage products, which began to form a vertically integrated chain before the crisis — from raising livestock to the sale of finished products.

The trends in the consumer market of meat products were influenced by the following factors: purchasing power, the weight of the manufacturer’s brand, the general situation in the raw meat market, etc. The trend towards the naturalization of food products has been reflected in the market in the form of an even greater disappearance from the field of view of consumers of mid-priced products and an increase in demand for expensive meat products and chilled meat products. On the other hand, consumption is largely affected by low purchasing power, especially in small regional centers and villages. The main criterion when buying here is the price and freshness of the product. This explains the demand for economy-class products, which include poultry products, mechanical deboning products, with significant shares of raw material substitutes and products sold mainly through markets. But in this segment there is a trend of naturalization, which is expressed in increasing demand for inexpensive products in natural casings or sausages from natural offal. Thus, the main problems of the Ukrainian market of meat products are the lack of raw materials and the quality of products. They are largely the result of the economic crisis, which has led to a decline in the purchasing

power of most consumers. The lack of proper state regulation of the market, both in terms of quality control and in terms of supporting domestic producers, also had a significant impact on the situation.

In the future, according to the Ukrainian Association of Farmers, poultry will be the main component of the meat diet. In the poultry industry, further sales growth is expected to average 2—3% per year (Ukrainian meat and sausage market: analysis of 2018, 2019).

The increase in beef production is a temporary phenomenon caused by a further reduction in the number of small and medium-sized cattle, which is not offset by low growth rates of production capacity of large enterprises (in general, the population has halved in the last 10 years). Therefore, over the next 3 years, the total population is expected to continue to decline to 3 million head and below, with a peak temporary increase in beef sales in 2021—2022 at a level not exceeding 140 thousand tons per year (There is no leader in the market of sausages, 2019). Such growth will not particularly affect the supply of beef in the domestic market, given the steady growth of exports of such products in recent years. Therefore, we should expect further stable growth of beef prices.

The situation is slightly different in pig farming, where imports have declined significantly in recent years without an increase in exports due to a catastrophic decline in livestock (over 23% in 5 years) and ineffective measures to prevent the spread of ASF (Ilchuk, Konoval, Kirilyuk, & Gurskaya, 2012). However, the demand for pork in Ukraine is traditionally high, which leads to a further rise in prices for such products, which in turn, together with a relatively short production cycle, encourages producers to increase the rate of pork production. In view of this, it is expected that the growth rate of pork prices will be lower than for cattle, and the supply will remain in the next 3 years in the range of 300—330 thousand tons per year, approximately at the level of 2016 or slightly exceed it.

Given the development trends of the cattle and pig sectors, a temporary slight increase in sausage production to 10% should be expected in 2022, but this will not lead to a fall in prices for such products (Zaremba, 2005).

The strategic task for Ukraine is the need to catch up with developed countries in the production of meat and meat products, primarily in order to ensure the physical and economic affordability of this food group. In modern conditions to achieve this goal for the meat industry in Ukraine it is necessary:

- to increase the raw material base, first of all, of national animal husbandry due to the development of meat cattle breeding and pig breeding;
- rational use of raw materials and energy resources, using flexible modes of operation and new technologies;
- increase the responsibility of business, scientists, technologists and politicians for the quality of imported meat products;
- set the necessary standards for the production of meat and vegetable products and strict sanctions against those who produce low-quality products;
- to ensure an increase in the role of the state in increasing the welfare of citizens and reducing disparities in the differentiation of incomes;
- pay attention to ensuring free access to information (product labeling).

Conclusions

The modern market of meat products in Ukraine is generally stable and has a constant share among consumers. However, there are risks — a reduction in livestock, and, as a result, higher raw material prices. The export potential of the sausage market may be negatively affected by the weakening of the national currency. However, the meat products market in Ukraine has sufficient potential for its development, both through exports and through increased production.

References

- Дичаковська, В. (2014). М'ясна стагнація. Взято з: <http://www.agrotimes.net/myasna-stagnacya.html>.
- Ільчук, М., Коновал, І., Кирилюк, О., & Гурська, І. (2012). *Формування попиту та пропозицій на ринку основних видів тваринницької продукції*. Київ: «Нічлава».
- Огляд ринку ковбасних виробів в Україні 2020. (2020). Взято з: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/obzor-rynka-kolbasnyh-izdelij-v-ukraine-2020-god>.
- Ринок м'яса та м'ясопродуктів в Україні за 2017—2019 роки. Українська аграрна асоціація. (2020). Взято з: <https://www.uagra.com.ua/uk/statti/16-rynok-miasa-ta-miasoproduktiv-v-ukraini-za-2017-2019-roky>.
- Обсяг реалізованої промислової продукції (товарів, послуг) за видами економічної діяльності у 2010—2019 роках. Державна служба статистики України. (2020). Взято з: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2013/pr/opr_rik/opr_rik_u.htm.
- На рынке колбасных изделий нет лидера. (2019). Взято з: <http://www.dsnews.ua/art7172.html>.
- Топ 10 переработчиков мяса Украины. Национальный агропортал Latifundist.com. (2015). Взято з: <https://latifundist.com/rating/top-proizvoditelej-myasnyh-produktov-2015>.
- Український ринок м'яса і ковбаси: аналіз 2018 року. (2019). Взято з: <https://koloro.ua/ua/blog/issledovaniya/ukrainskiy-rynok-myasa-i-kolbasy-analiz.html>.
- Заремба, П. (2005). Розвиток м'ясопереробної промисловості України: проблемні питання та шляхи їх вирішення. *Вісник економічної науки України*, 2(8), 124—126.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF SHORT-TERM ELECTRIC LOAD FORECASTING ONE STEP FORWARD

P. Zinkevych, S. Baluta, Iu. Kuievda

National University of Food Technologies

Key words:

ANFIS

ARIMA

«Naive» forecast

Short-term TLF

Forecasting methods

Article history:

Received 22.04.2021

Received in revised form
07.05.2021

Accepted 21.05.2021

Corresponding author:

P. Zinkevych

E-mail:

petrozinkevich@
gmail.com

ABSTRACT

Short-term load forecasting (LF) for industrial enterprises is important and complex theme in the electricity, and so, it is of growing scientific interest. Precision short-term LF is important for proper planning and operation of power systems.

This article investigates statistical methods and models of artificial intelligence for forecasting industrial enterprises one step forward. Literature review showed that the most popular methods of short-term LF one step forward are: autoregressive integrated moving average model (ARIMA), naive forecast and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS), which includes the following models: Grid Partitioning, Subtractive Clustering, FCM Clustering. Therefore, these methods were chosen for further modeling of LF. For ANFIS into account external factors: day factor (if a weekday, then 1, if a holiday, then 0), time of day, day of the week.

An industrial enterprise with the manufacture of plastic products was the object of study where measurements were provided every day for half an hour (measurements every 48 hours), from January 11, 2015 to June 11, 2015, taking into account holidays and weekends. This study used mean square error (RMSE) as standard measurements to verify the accuracy of forecasting. Software used for research was MATLAB 2020b, with toolbox: Fuzzy Logic Toolbox and Econometrics Toolbox.

Step by step construction of the PEN models one step forward for these methods and models was developed. As a result, modeling ARIMA(2,1,2) was superior to other models with the least errors RMSE, training and test 0.0317 and 0.0354 respectively. The results showed that one-step prediction was the most effective model ARIMA. The prospect of further research is to develop models of these methods for multi-step forecasting and comparison with each other.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ОДИН КРОК ВПЕРЕД

П. О. Зінкевич, С. М. Балюта, Ю. В. Куєвда

Національний університет харчових технологій

Короткострокове прогнозування електричного навантаження (ПЕН) промислових підприємств і цивільних об'єктів є важливим та складним науковим завданням, оскільки дає змогу реалізувати функції керування електроспоживанням і забезпечити енергоефективні режими функціонування систем електрозабезпечення цих та цивільних об'єктів.

У статті досліджено математичні моделі на основі статистичних методів і методів штучного інтелекту для прогнозування електричного навантаження (ПЕН) промислових підприємств на один крок вперед. Опрацювання літератури показало, що найбільш ефективні та поширені методи короткострокового ПЕН на один крок вперед такі: авторегресивна інтегрована модель ковзного середнього (ARIMA), «наївний» прогноз та адаптивна система нейро-нечіткого висновку (ANFIS). З метою вибору методу ПЕН, який забезпечить вирішення задач керування електроспоживанням та електропостачанням, були проведені розрахункові дослідження вказаних методів ПЕН. При прогнозуванні з використанням ANFIS враховувалися такі зовнішні фактори: фактор дня (якщо будній день, то 1, якщо вихідний, то 0), час доби, день тижня.

Об'єктом дослідження є методи ПЕН, які проводилися на основі вимірних даних електричного навантаження промислового підприємства з виготовленням пластмасових виробів. Вимірювання проводилися щоденно з 11 січня 2015 року по 11 червня 2015 року (з урахуванням святкових і вихідних днів) кожні пів години (відповідно, 48 вимірювань на добу). Для оцінки якості моделей прогнозування використовувалася стандартна величина: середньоквадратична похибка (RMSE). Розрахункові дослідження виконані у програмному середовищі MATLAB 2020b, з набором інструментів: Fuzzy Logic Toolbox та Econometrics Toolbox.

З використанням методів ARIMA, «наївного» прогнозу та адаптивної системи ANFIS розроблені моделі ПЕН на один крок вперед. Результати розрахункових досліджень показали, що прогнозування з використанням моделі ARIMA (2,1,2) забезпечує найменшу похибку RMSE на рівні 0,0317 і 0,0354 відповідно для навчальної й тестової вибірки. В подальших дослідженнях планується розробка моделей багатокрокового прогнозування електричного навантаження.

Ключові слова: ANFIS, ARIMA, «наївний» прогноз, короткострокове ПЕН, методи прогнозування.

Постановка проблеми. Для ефективного керування електроспоживанням та електропостачанням важливе значення має короткострокове ПЕН (Short-term load forecasting (STLF)), одна година — один тиждень (Singh & Maini, 2020). На

сьогодні більшість моделей прогнозування споживання електроенергії розроблено для ПЕН на національному або регіональному рівнях енергосистеми для забезпечення її енергоефективних режимів роботи. Проте методи прогнозування електроспоживання на рівні цивільних і промислових об'єктів усе ще потребують вдосконалення, оскільки забезпечують реалізацію енергоефективних режимів та функціонування цих об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для STLF розроблено велику різноманітність методів статистичного та штучного інтелекту. Так, у дослідженні (Gunjan, Shah, Patel, Christie & Mewada, 2017) представлено короткострокову модель ПЕН з використанням ANFIS. Вхідними параметрами моделі є: температура, вологість, день тижня, година дня, електричне навантаження попереднього дня за період з 16 січня по 15 березня 2014 року. Вихідними даними є прогнозовані дані електричного навантаження. Похибка прогнозування оцінюється за допомогою MAPE і становить 5,62%.

У (Yaşın та ін., 2018) виконано порівняння трьох методів короткострокового ПЕН в електричній системі Індонезії: метод коефіцієнтного навантаження, метод експоненціального згладжування та нечітка субтрактивна кластеризація з використанням ANFIS. Дослідження виконані на основі даних електричного навантаження вихідних днів у жовтні 2014 р. показали, що найменше значення MAPE, яке становить 3,87%, забезпечує метод експоненціального згладжування.

Дослідники (Adebunmi, Adepoju, Adepoju & Bisiriyu, 2021) наводять результати дослідження в середовищі MATLAB таких методів короткострокового ПЕН: ANFIS, штучна нейронна мережа (ANN) та багатолінійна регресія (MLR). Точність прогнозування оцінювалася з використанням RMSE та середньої абсолютної похибки (MAE). Встановлено, що модель ANFIS забезпечує найменші похибки RMSE та MAE, які, відповідно, становлять 2,2198% та 1,7932%.

У (Nataraja, Gorawar, Shilpa & Harsha, 2012) представлено методику розробки моделей короткострокового ПЕН на основі авторегресії (AR), авторегресивного ковзного середнього (ARMA) та ARIMA з використанням аналізу часових рядів даних електричного навантаження Карнатаці в 2011 та 2012 роках. Результати досліджень показали, що MAPE для моделей AR, MA та ARIMA, відповідно, становить 13,03%, 11,03% і 6,15%.

Дослідники (Razak, Shitan, Hashim dan & Abidin, 2009) виконали порівняння шести методів короткострокового ПЕН: «наївний» прогноз, експоненціальне згладжування, сезонна модель Холта-Віннера, ARMA, алгоритм ARAR та регресія з помилками ARMA. Ефективність цих методів оцінювали за допомогою критеріїв MAE, RMSE та середньої абсолютної відносної процентної помилки (MARPE). Встановлено, що найкращою моделлю для короткострокового ПЕН є суто авторегресивна модель порядку 2, або AR (2).

У (Hartati, Linawati & Meindra, 2015) виконано дослідження точності методів ANFIS погодинного прогнозування споживання електроенергії на основі критеріїв: MAPE, модуля MAPE, дисперсії MAPE та його кореляції. Встановлено, що ANFIS забезпечує мінімальну похибку прогнозування менше 2%. Проведені розрахунки статистичної оцінки точності результатів прогнозування підтверджують доцільність використання ANFIS для погодинного ПЕН.

Виконаний аналіз літературних джерел показав, що найбільш перспективними методами ПЕН на один крок вперед, які забезпечують найбільшу точність

прогнозування, є: ARIMA, «наївний» прогноз та ANFIS. Тому ці методи ПЕН були вибрані для подальших досліджень.

Мета статті: дослідження методів короткострокового ПЕН промислових і цивільних об'єктів на один крок вперед для забезпечення задач керування електроспоживанням та електропостачанням цих об'єктів.

Матеріали і методи. Для порівняння методів ПЕН на один крок вперед було вибрано об'єкт дослідження — промислове підприємство з виготовлення пластмасових виробів. Програмним забезпеченням для дослідження використано MATLAB 2020b і такі пакети: Fuzzy Logic Toolbox та Econometrics Toolbox. Для прогнозування використано півгодинні виміри навантаження (у МВт·год) з 11.01.2015 по 11.06.2015 (48 вимірів на добу) з урахуванням святкових і вихідних днів.

Для проведення досліджень з використанням ANFIS доцільно враховувати зовнішні фактори, які впливають на ПЕН. Найважливішим фактором короткострокового ПЕН є час, оскільки крива навантаження має властивості «час доби», «день тижня», «тиждень місяця», «місяць сезону» (Shrivastava & Chaturvedi, 2018). Інші фактори, такі як температура та вологість при проведенні досліджень не враховувалися, оскільки вони не впливають на навантаження промислового підприємства. Для порівняння досліджувалися такі методи прогнозування:

1. Статистичні методи: «наївний» прогноз і моделі часового ряду Бокса-Дженкінса (ARIMA);

2. Метод штучного інтелекту ANFIS, що включає такі моделі:

- модель Grid Partitioning;
- модель Subtractive Clustering;
- модель FCM Clustering.

3. Метод оцінки прогнозування.

У цьому дослідженні для перевірки точності прогнозування ми використовуємо RMSE (Aras, Kocakoc & Polat, 2017), яка визначається таким чином:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{t=1}^n \frac{(\hat{y}_t - y_t)^2}{n}}, \quad (1)$$

де y_t — значення спостереження в момент часу t ; $\hat{y}_t$ — позначає прогнозоване значення в момент часу t ; n — кількість точок даних у наборі.

Викладення основних результатів досліджень. У цьому розділі статті представлена поетапна побудова моделей ПЕН на один крок вперед для статистичних методів (ARIMA, «наївний» прогноз) та інтелектуальної системи керування (ANFIS) за допомогою MATLAB 2020b.

ПЕН за допомогою моделі ARIMA. Процес моделювання ARIMA з використанням моделі Бокса-Дженкінса передбачає дев'ять етапів:

Етап 1. Завантаження даних. Аналіз динаміки часового ряду. Нижче графічно представлено динаміку споживання промислового підприємства з виготовленням пластмасових виробів за період з 11.01.2015 по 11.06.2015 (рис. 1). Згідно з рис. 1 загальне навантаження електроенергії збільшується в кінці січня. В кінці квітня відбувається провал навантаження, оскільки на цей період припадають святкові дні. Погодинне навантаження в робочі дні є досить послідовним, а у вихідні та святкові дні навантаження зменшується.

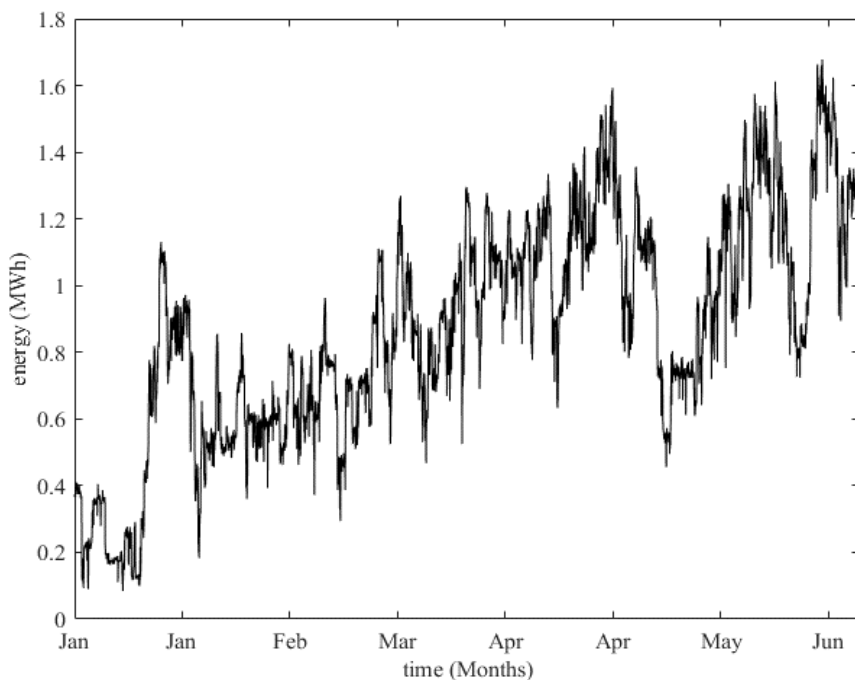


Рис. 1. Електричне навантаження промислового підприємства з 11.01.2015 по 11.06.2015

Етап 2. Визначення потенційних моделей шляхом розгляду вибіркової автокореляційної (ACF) та частково-автокореляційної (PACF) функцій для вимірюваних даних.

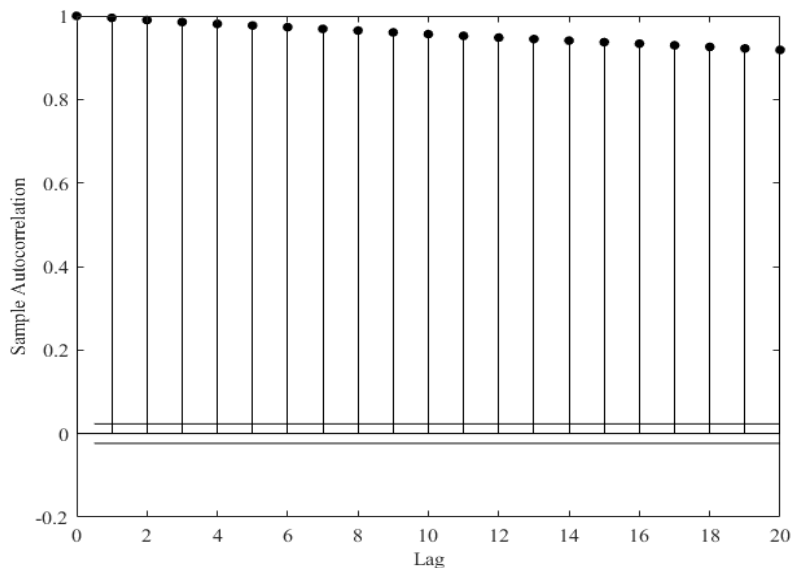


Рис. 2. Моделювання вибіркової автокореляції (ACF) даних

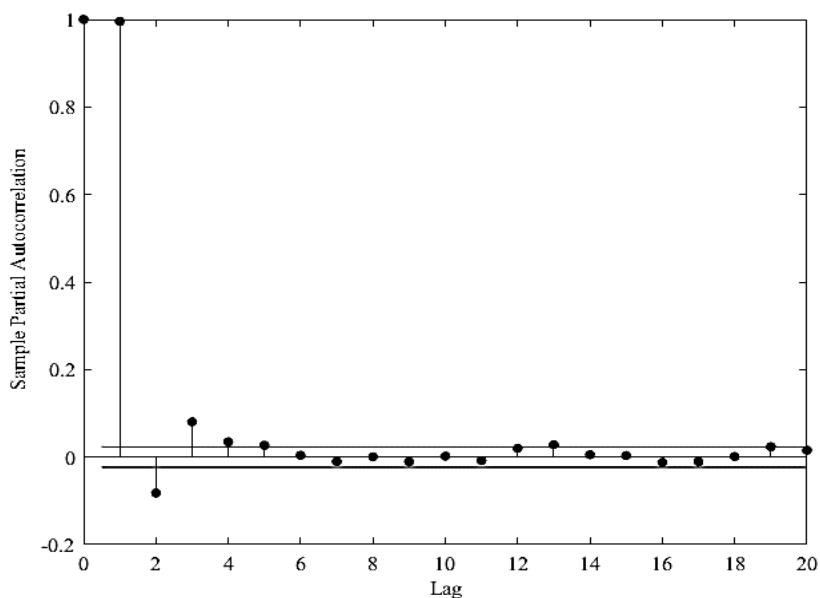


Рис. 3. Моделювання вибіркової часткової автокореляції (PACF) даних

Наявність значного лінійного спадання функції ACF (рис. 2) вказує на нестационарний процес.

Етап 3. Перехід до різниці даних і побудова різницевого ряду.

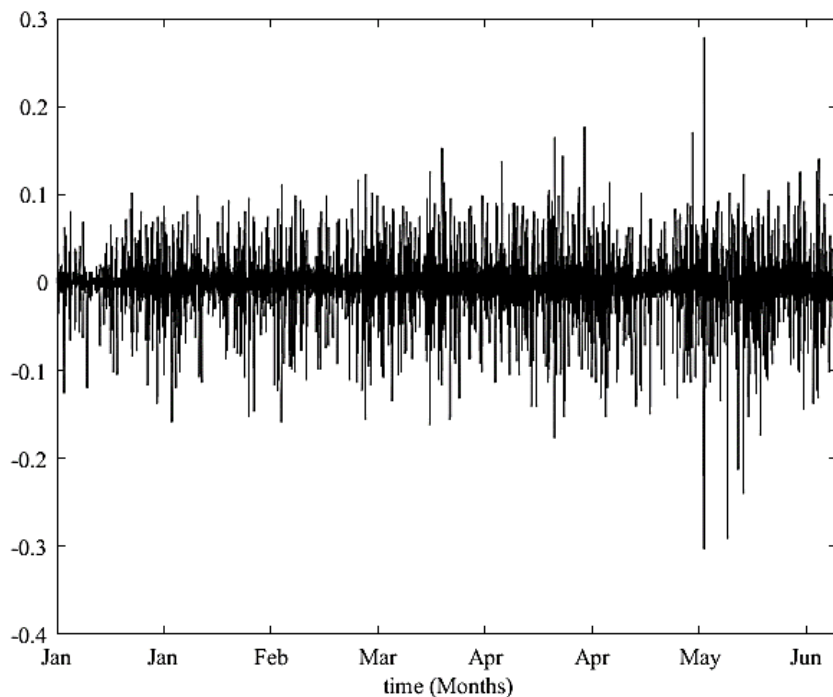


Рис. 4. Графік різницевого ряду

Етап 4. Визначення потенційних моделей шляхом розгляду виду ACF та PACF до різниці даних.

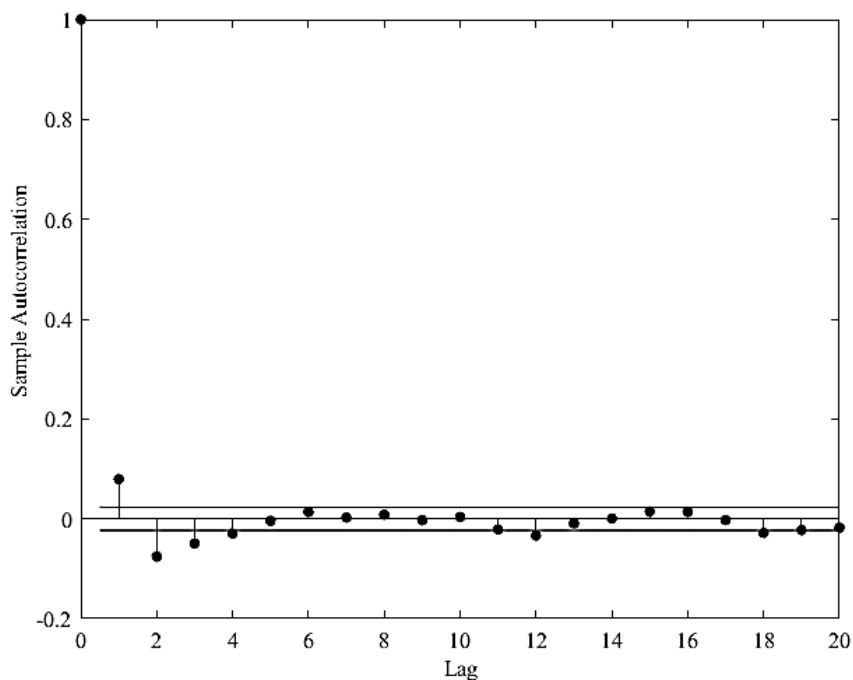


Рис. 5. Автокореляційна функція (ACF) до різниці даних

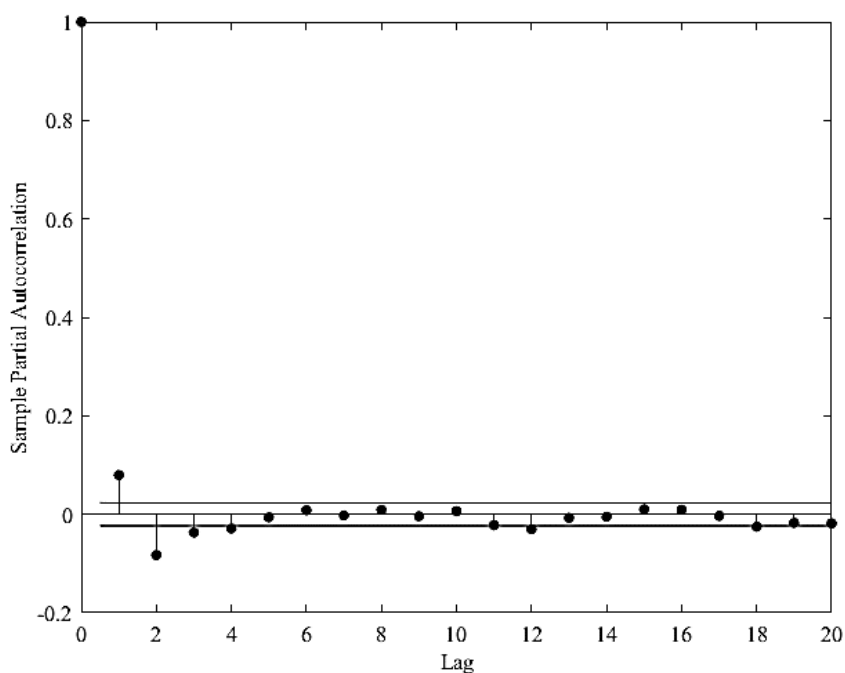


Рис. 6. Часткова автокореляційна функція (PACF) до різниці даних

Вибіркові ACF та PACF, наведені на рис. 5 та 6, відсікаються після двох кроків.

Етап 5. Визначення кількості разів диференціювання, тобто параметра D в моделі ARIMA(p, D, q) за стаціонарністю різниць даних певного порядку. Визначаємо стаціонарність різниці першого порядку на основі розширеного тесту Дікі-Фуллера:

$$h1 = \text{adftest}(y)$$

$$h = \text{adftest}(dY).$$

Отримуємо $h1 = 0$, а $h = 1$, тоді перша різниця даних є стаціонарною, тобто параметр D дорівнює 1.

Етап 6. Вибір найкращої моделі ARIMA (p, D, q). На цьому етапі вибираємо найкращу модель, використовуючи критерій AIC та BIC.

Для цього вибираємо параметри: $\max_p=5$; $\max_q=5$.

Проведене моделювання дало змогу встановити, що найкращою моделлю є ARIMA (2,1,2). Після вибору найкращої моделі ARIMA, дані вимірювань розділяють на навчальну і тестову вибірку. Навчальна вибірка була сформована для даних з 11.01.2015 по 10.06.2015, а тестова — для 11.06.2015. Модель ARIMA навчається на першій вибірці.

Model = ARIMA (2,1,2);

EstMdl = estimate(Model, X_train).

У результаті навчання моделі визначаємо параметри, які наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Оцінка параметрів і діагностична перевірка методу ARIMA (2,1,2)

Параметри	Value	Standard Error	TStatistic	PValue
Constant	7.4048e-05	0.00020859	0.35499	0.72259
AR{1}	0.57329	0.083994	6.8254	8.7709e-12
AR{2}	-0.14487	0.081627	1.7747	0.075941
MA{1}	-0.49105	0.085064	5.7728	7.7979e-09
MA{2}	0.025404	0.083926	0.3027	0.76212
Variance	0.0010051	8.4357e-06	119.15	0

Моделі ARIMA (2,1,2) відповідає рівняння:

$$(1 - \phi_1 L - \phi_2 L^2)(1 - L)y_t = c + (1 + \theta_1 L + \theta_2 L^2)\varepsilon_t. \quad (2)$$

Етап 7. Перевірка адекватності встановленої моделі ARIMA (2,1,2), ACF та PACF за властивостями залишків моделі відносно навчальної вибірки.

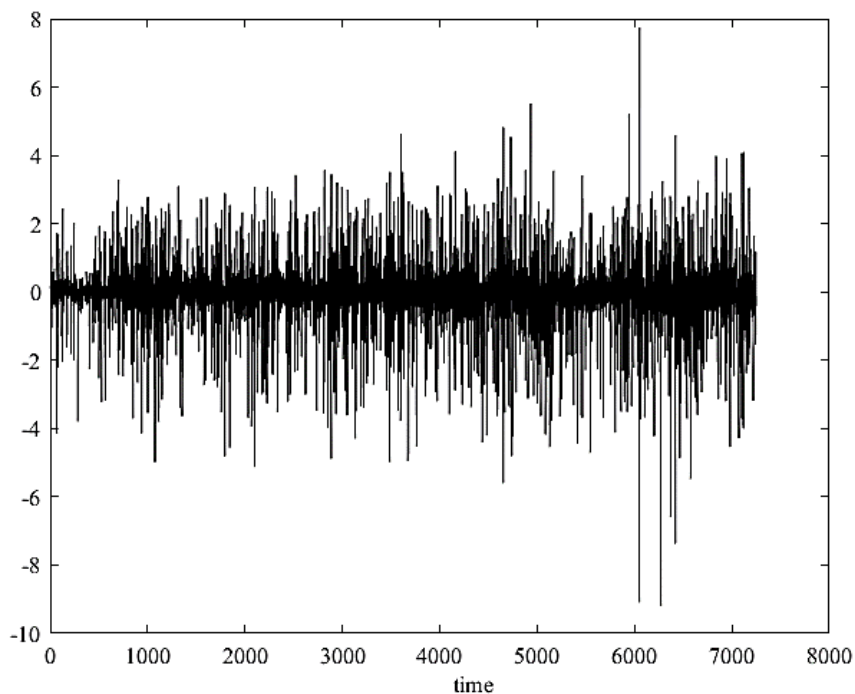


Рис. 8. Q-Q графік для визначення, чи є нормальним розподіл залишків моделі ARIMA (2,1,2)

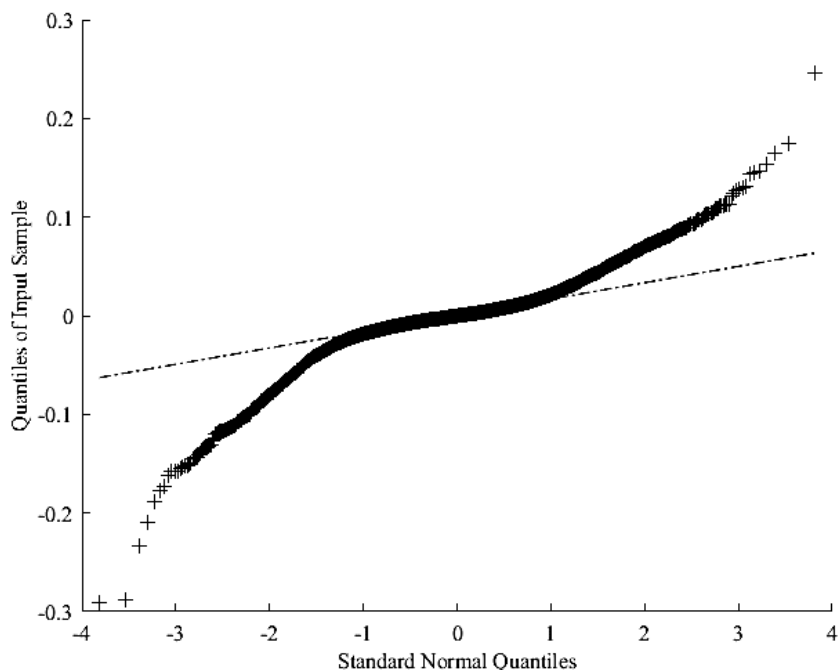


Рис. 8. Q-Q графік для визначення, чи є нормальним розподіл залишків моделі ARIMA (2,1,2)

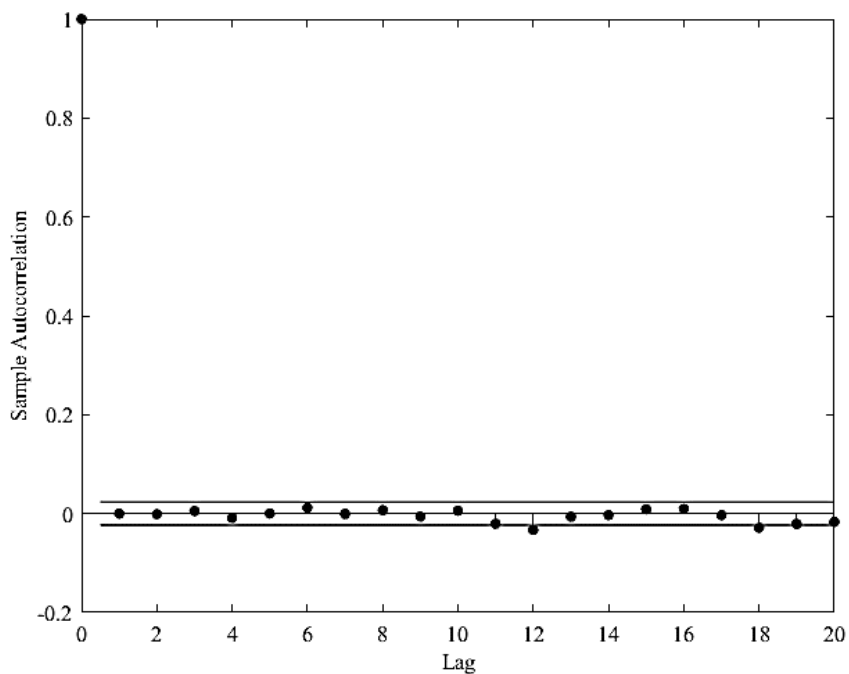


Рис. 9. Графік автокореляції (ACF) залишків моделі
ARIMA (2,1,2)

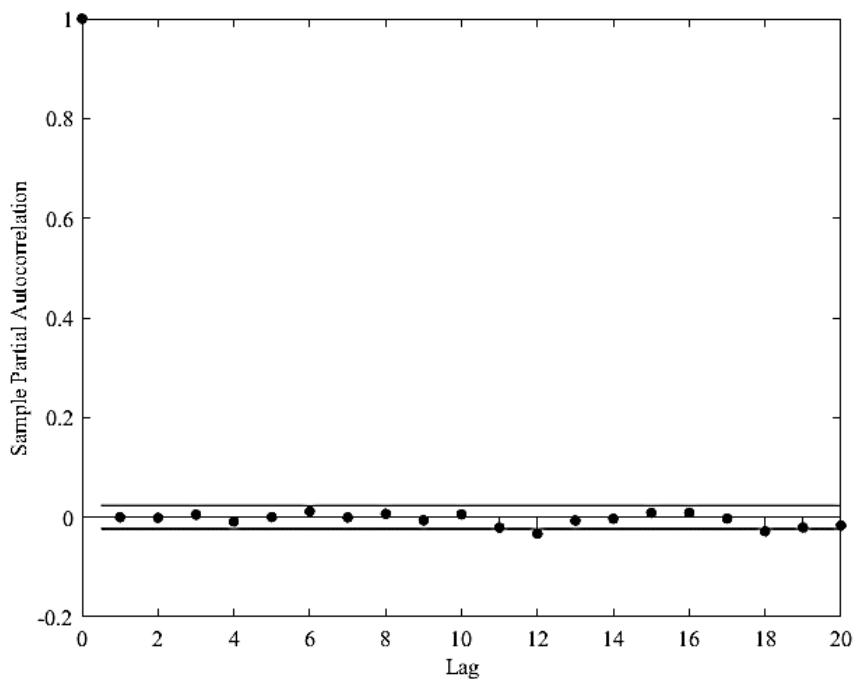


Рис. 10. Графік часткової автокореляції (PACF) залишків моделі
ARIMA (2,1,2)

Як видно з рис. 7, 8, 9 та 10, залишки нормально розподілені та некорельовані, тому ця модель адекватна для вибірки.

Етап 8. Прогнозування результатів на основі даних. Окремо робиться прогноз для навчальної і тестової вибірки.

Для початкової вибірки виконання однокрокового прогнозування проводиться за таким алгоритмом:

```
YTrain1(1:3)=X_train(1:3);
for i = 4:EndTrainData
YTrain1(i) = forecast(EstMdl,1,X_train(1:i-1));
if mod(i,1000)==0
disp(i)
end
end.
```

Виконання однокрокового прогнозування для тестової вибірки проводиться за таким алгоритмом:

```
YTest1(1:3)=X_test(1:3);
for i = 4:LenForecast
YTest1(i) = forecast(EstMdl,1,X_test(1:i-1));
if mod(i,48)==0
disp(i)
end
end.
```

Етап 9. Визначення похибки RMSE для навчальної та тестової вибірки.

$RMSE_{YTrain1} = \sqrt{\text{mean}((Y_{Train1} - X_{train})^2)}$

$RMSE_{YTest1} = \sqrt{\text{mean}((Y_{Test1} - X_{test})^2)}$.

Таблиця 2. Результати прогнозування встановленої моделі ARIMA (2,1,2)

Модель ARIMA	Похибка RMSE	
	Train	Test
ARIMA(2,1,2)	0,0317	0,0354

ПЕН за допомогою «наївного» прогнозу.

Процес моделювання за «наївним» прогнозом передбачає чотири етапи:

Етап 1. Завантаження даних.

$y = \text{Data}(:,2)$

$T = \text{length}(y)$.

Етап 2. Розділення даних на навчальну і тестову вибірку. Навчальну вибірку розділяємо для даних з 11.01.2015 по 10.06.2015, а тестову — для даних на 11.06.2015.

Етап 3. Прогнозування «наївним» прогнозом для навчальної та тестової вибірки даних. Для навчальної вибірки даних використовуємо алгоритм:

$\text{dateStart} = \text{datestr}(\text{now}, 'dd-mm-yyyy MM:ss')$

$Y_{Train1}(1) = X_{train}(1);$

$Y_{Train1}(2:\text{EndTrainData}) = X_{train}(1:\text{EndTrainData}-1);$

$\text{dateEnd} = \text{datestr}(\text{now}, 'dd-mm-yyyy MM:ss').$

Для тестових даних необхідно використовувати нульову модель ARIMA (0,0,0).
Для тестової вибірки даних використовуємо алгоритм:

```
Md1 = arima (0,0,0);
figure
plot(y,'Color',[.5,.5,.5]);
hold on
dateStart48 = datestr(now, 'dd-mm-yyyy MM:ss')
for i = 1:LenForecast
EstMod = estimate(Md1, y(EndTrainData+i-1), 'Display','off');
YTest1(i) = forecast(EstMod,1,y(EndTrainData+i-1));
dateEnd48 = datestr(now, 'dd-mm-yyyy MM:ss').
Етап 4. Визначення похибки RMSE для навчальної та тестової вибірки.
RMSEYTrain1 = sqrt(mean((YTrain1'-y(1:EndTrainData)).^2));
RMSEYTest1 = sqrt(mean((YTest1'-...
y(EndTrainData+1:EndTrainData+LenForecast)).^2)).
```

Таблиця 3. Результати прогнозування встановленої моделі «наївного» прогнозу

Модель	Похибка RMSE	
	Train	Test
«Наївний» прогноз	0,0319	0,0359

ПЕН за допомогою ANFIS. Процес моделювання ANFIS передбачає шість етапів:

Етап 1. Обробка вхідних даних. Модель має чотири входи:

день тижня;

година дня;

фактор вихідного дня: будній день = 1, якщо вихідний день, то дорівнює 0.

навантаження попереднього дня, тобто на один крок назад (t-1).

Вихідними даними моделі є дані електричного навантаження з 11 січня по 11 червня 2015 року. Алгоритм виконання.

```
load('weekday and Demand.mat')
```

```
Days = Data(:,1)
```

```
timeDay = Data(:,2)
```

```
weekday = Data(:,3)
```

```
Demand1 = Data(:,4)
```

```
Demand2 = Data(:,5)
```

```
Inputs = [Days weekday timeDay Demand1]
```

```
Outputs = Demand2
```

```
data = [Inputs Outputs].
```

Навчальні дані містить матрицю 7296x5.

Етап 2. Розділення даних на навчальну і тестову вибірку. Дані навчальної вибірки з 11 січня по 10 червня 2015 року представляються у формі матриці 7248x5, а дані для тестування на 11 червня 2015 року у формі матриці 48x5.

Етап 3. Встановлення параметрів методів FIS для навчальних даних. На цьому етапі використовуються моделі ANFIS: Grid Partitioning, Subtractive Clustering, FCM Clustering, які розраховуються окремо для цього етапу (табл. 4).

Таблиця 4. Вхідні параметри функцій genfis

Модель genfis	Вхідні параметри
Grid partitioning opt1 = genfisOptions('GridPartition')	NumMembershipFunctions = [2]; InputMembershipFunctionType = ["trimf"] OutputMembershipFunctionType = ['linear']
	NumMembershipFunctions = [3]; InputMembershipFunctionType = ["trimf"] OutputMembershipFunctionType = ['linear']
Subtractive Clustering opt1 = genfisOptions('SubtractiveClustering')	ClusterInfluenceRange = 0.55; DataScale = 'auto'; SquashFactor = 1.25; AcceptRatio = 0.3; RejectRatio = 0.15; Verbose = true
FCM Clustering opt1=genfisOptions('FCMClustering','FISType','sugeno');	NumClusters = 25; Exponent = 3.0; MaxNumIteration = 100; MinImprovement = 1e-5; Verbose = true

fis1 = genfis(TrainInputs,TrainOutputs,opt1)

Етап 4. Структура навчання ANFIS. На цьому етапі навчаємо через 100 епох нашу модель fis, для *Grid Partitioning*, *Subtractive Clustering*, *FCM Clustering*. Вибираємо гібридний метод ANFIS, тобто OptimizationMethod=1.

fis=anfis([TrainInputs TrainOutputs],...
fis1,TrainOptions,DisplayOptions,[],OptimizationMethod) .

Етап 5. Прогнозування ПЕН FIS за використанням функції evalfis.

Forecast=evalfis(fis, Inputs);
TrainForecast=Forecast(TrainInd,:);
TestForecast=Forecast(TestInd,:).

Етап 6. Визначення похибки RMSE для навчальної та тестової вибірки.

$RMSEY_{Train1} = \sqrt{\text{mean}((\text{TrainOutputs} - \text{TrainForecast}).^2)}$

$RMSEY_{Test1} = \sqrt{\text{mean}((\text{TestOutputs} - \text{TestForecast}).^2)}$.

Таблиця 5. Результати прогнозування встановленої моделі ANFIS

Модель ANFIS	Вхідні параметри	RMSE	
		Train	Test
Grid partitioning	Кількість термів — 2; Функція належності — 'trimf' Тип функції вихідного членства — 'linear'	0,1581	0,0837
	Кількість термів — 3; Функція належності — 'trimf' Тип функції вихідного членства — 'linear'	0,1478	0,1429
Subtractive Clustering	Діапазон впливу кластера — 0,55	0,1511	0,1281
FCM Clustering	Кількість кластерів — 25;	0,1478	0,1454

Порівняння результатів ПЕН. На цьому етапі порівнюються результати моделювання даних моделей.

Таблиця 6. Результати прогнозування для всіх методів прогнозування

Метод ПЕН	Похибка RMSE	
	Train	Test
ARIMA(2,1,2)	0,0317	0,0354
Наївний прогноз	0,0319	0,0359
Grid partitioning з 2 термами.	0,1581	0,0837
Grid partitioning з 3 термами.	0,1478	0,1429
Subtractive Clustering	0,1511	0,1281
FCM Clustering	0,1478	0,1454

З даних, наведених у табл. 6, видно, що для однокрокового прогнозування для навчальної й тестової вибірки моделі ANFIS є менш ефективними. Найбільш точний прогноз забезпечують модель ARIMA(2,1,2) і наївний прогноз, при цьому RMSE складає, відповідно, для навчальної вибірки 0,0317 та 0,0319, а для тестової — 0,0354 та 0,0359.

Висновки

На основі проведених розрахункових досліджень методів короткострокового ПЕН з використанням двох моделей статистичних методів і чотирьох моделей на основі ANFIS встановлено, що найбільш ефективною моделлю прогнозування є ARIMA (2,1,2). При цьому вказана модель забезпечує RMSE, відповідно, для навчальної вибірки 0,0317, тестової 0,0359. Точність прогнозування ANFIS можна збільшити шляхом використання додаткових вхідних параметрів моделі, наприклад, економічних показників підприємства, а саме: обсяг випуску продукції; пуск/зупинка технологічних ланцюжків; проведення планових і позапланових ремонтів; аварійні ситуації; збоїв в роботі технологічних ланцюгів.

Моделі ANFIS, «наївного» прогнозу та ARIMA доцільно використовувати для короткострокового ПЕН на крок вперед у системах керування електроспоживанням та електропостачанням промислових підприємств.

Для забезпечення ефективного функціонування систем керування електроспоживанням та електропостачанням промислових підприємств необхідно розробити методи короткотермінового багатокрокового ПЕН на основі моделей ARIMA, «наївного» прогнозу та методів ANFIS.

Література

- Adebunmi, K. O., Adepoju, T. M., Adepoju, G. A., Bisiriyu, A. O. (2021). Hybrid Based Artificial Intelligence Short -Term Load Forecasting, *Journal of Engineering Research and Reports*, 20(6), 75—87. doi: 10.9734/jerr/2021/v20i617330.
- Aras, S., Kocakoc, I. D., Polat, C. (2017). Comparative study on retail sales forecasting between single and combination methods. *Journal of Business Economics and Management*, 18(5), 803—832. <https://doi.org/10.3846/16111699.2017.1367324>.
- Gunjan, D., Shah, S. J., Patel, Y., Christie, M., Mewada, U. (2017). Short Term Load Forecasting using Neuro Fuzzy. *International Journal for Scientific Research and Development*, 9, 1—5.

Hartati, R. S., Linawati, Meindra, W. S. (2015) Hourly Load Forecasting of Electricity in Bali, Indonesia using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 7(3), 1076—1084.

Nataraja, C., Gorawar, M. B., Shilpa, G. N., Shri Harsha, J. (2012). Short term load forecasting using time series analysis: A case study for Karnataka, India. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, 1(2), 45—53.

Razak, F. A., Shitan, M., Hashim dan, A. H., Abidin, I. Z. (2009). Load Forecasting Using Time Series Models. *Jurnal Kejuruteraan*, 21, 53-62. <https://doi.org/10.3846/16111699.2017.1367324>.

Shrivastava, S., Chaturvedi, D. K. T. (2018) A Review of Artificial Intelligence Techniques for Short Term Electric Load Forecasting. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 7(5), 2241—2247. doi:10.15662/IJAREEIE.2018.0705015.

Singh, M., Maini, R. (2020). Various Electricity Load Forecasting Techniques with Pros and Cons, *International Journal of Scientific and Technology Research*, 8(6), 220—229. doi:10.35940/ijrte.F6997.038620

Yaqin, E. N., Abdulla, A. G., Chandra, D., Pratiwi, T. A., Adhigunarto, S., Shidiq, A. M., Ramadhan, A. J., Putra, R. P., Alfaridzi, A. F., Muttaqin, M. F. A., Nandiyanto, A. B. D. (2017). Short Term Load Forecasting for Weekends in Indonesia: Comparison of Three Methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 288, 220—229. doi:10.1088/1757-899X/288/1/012119.

DETERMINATION OF PARAMETERS OF LAYING OF CARGOES WITHOUT SMITE

O. Shevchenko, A. Sokolenko, O. Stepanets, E. Skuybida

National University of Food Technologies

Key words:

*Transient process
Laying without smite
Dynamics
Kinematics
Cargo
Acceptable plane*

Article history:

Received 13.04.2021
Received in revised form
28.04.2021
Accepted 12.05.2021

Corresponding author:

O. Shevchenko

E-mail:

tmipt@ukr.net

ABSTRACT

The article deals with the study of the dynamics of transients related to the placement of cargoes on the support planes using systems with flexible pendants. The necessity of transition in physical and mathematical models to nonlinear systems was substantiated.

The given research concerns searches and deepening of theoretical base of use of the energy basis for inquiries of the kinematic and dynamic analysis and synthesis of devices and mechanisms for movement of cargoes. The main and important factor in the resistance to movement was the forces of friction in kinematic pairs and artificially created to implement the given laws of motion.

The nonlinearity of systems based on the use of flexible cargo pendants was explained by the change in their length at given displacements. The total mass of the working bodies and cargoes together with the stiffness of the pendants determined the frequency of natural oscillations. Variable values of pendants lengths meant their volatile stiffness and frequency of oscillating processes and the need to solve and analyze nonlinear differential equations of the second order.

Calculation formulas for determining the variable stiffness of flexible pendants, geometric characteristics of systems with adjustable speed of cargoes in the modes of attachment were proposed.

The scheme of the experimental stand for realization loading of cargoes without smite with a simultaneous possibility of achievement of regenerative effects was presented. Comparative data of theoretical calculations and experimental data concerning the set of geometric, kinematic and dynamic parameters corresponding to the modes of shockless loading were given.

It was shown that the proposed analytical apparatus allowed to create reliable models for solving problems of laying without smite. Comparison of theoretical experimental data showed the difference between them at a level not exceeding 15%.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ БЕЗУДАРНОГО ВКЛАДАННЯ ВАНТАЖІВ

О. Ю. Шевченко, А. І. Соколенко, О. І. Степанець, Є. Л. Скуйбіда
Національний університет харчових технологій

У статті досліджено динаміку перехідних процесів, що стосуються вкладання вантажів на опорні площини за використання систем з гнучкими підвісками. Обґрунтовано необхідність переходу у фізичній і математичній моделях до нелінійних систем.

Наведене дослідження стосується пошуків і поглиблення теоретичної бази використання енергетичного підґрунтя для запитів кінематичного і динамічного аналізу та синтезу машин і механізмів для переміщення вантажів. Головним і важливим чинником опору переміщенню є сили тертя в кінематичних парах, штучно створювані для реалізації заданих законів руху.

Нелінійність систем на основі використання гнучких підвісок вантажів пояснюється зміною їх довжини на заданих переміщеннях. При цьому сукупні маси робочих органів і вантажів разом із жорсткостями підвісок визначають частоту власних коливань. Змінні значення довжин підвісок означають їх несталі жорсткості і частоти коливальних процесів та необхідність розв'язання й аналізу нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку.

Запропоновано розрахункові формули з визначення змінних жорсткостей гнучких підвісок, геометричні характеристики систем із регульованою швидкістю переміщення вантажів у режимах вкладання.

Представлено схему експериментального стенду для реалізації безударного вкладання вантажів з одночасною можливістю досягнення рекуперативних ефектів. Наведено порівняльні дані теоретичних розрахунків і експериментальних даних, що стосуються сукупності геометричних, кінематичних і динамічних параметрів, які відповідають режимам безударного вкладання вантажів.

Показано, що запропонований аналітичний апарат дає змогу створювати надійні моделі для вирішення задач безударного вкладання. Порівняння теоретичних експериментальних даних показує розбіжність між ними на рівні, що не перевищує 15%.

Ключові слова: *перехідний процес, безударне вкладання, динаміка, кінематика, вантаж, приймальна площина.*

Постановка проблеми. Визначення динамічних параметрів перехідних процесів пов'язано з необхідністю детального аналізу інформації, яка стосується теоретичного підґрунтя, загального рівня теорії моделювання процесів взаємодії в системах «двигун–передавально-перетворювальний механізм–робочий орган–об'єкт маніпулювання», сукупності припущень і гіпотез, що покладаються в основу теоретичних моделей.

У динаміці машин традиційно використовується ряд припущень, результатом яких є одержання лінійних математичних моделей на рівні диференціальних

рівнянь другого порядку або систем з них. Результатом такого підходу є можливість розв'язань останніх у явному вигляді, однак переважно має місце багатофункціональна залежність завдяки сукупності первинних параметрів у різних сполученнях (Кожевников, 1993; Фролов та ін., 1998).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження (Соколенко та ін., 2004; Кодра & Стоцько, 2004) виконано в інтересах поглибленого вивчення динаміки нелінійних систем механізмів піднімання, переміщення та вкладки вантажів на приймальні платформи. В основу нелінійності систем підвіски вантажів покладено зміну довжин останніх. Особливістю технологічних машин з вантажопідйомними пристроями є обмежені довжини як замкнених контурів гнучких зв'язків, так і відносно високі швидкості переміщення робочих органів. Дві названі умови роблять співрозмірними в часі періоди коливальних процесів і суттєвих змін довжин ведучих ділянок гнучких елементів. Саме це пояснює неможливість використання припущення про сталі значення параметрів пружних зв'язків.

Режими вкладки вантажів є завершальною частиною процесів, в яких вирішується завдання приймання вантажів, переміщення їх у вертикальному напрямку на піднімання, у горизонтальних площинах і, нарешті, вкладки на приймальні площини. Переміщення у вертикальному напрямку супроводжуються впливами гравітаційного поля, яке на першому етапі визначає силову дію опору, а на етапі вкладки виступає в ролі фактора рушійних сил. Ця особливість приводить до висновку про доцільність створення технологічних машин з елементами енергетичної рекуперації (Соколенко, Васильківський & Костюк, 2016; Соколенко, Васильківський & Степанець, 2016; Криворотько та ін., 2014), зокрема за рахунок створення паралельних потоків (Патент 58946, Пристрій для переміщення вантажів). Разом з тим будь-яка силова дія супроводжується відповідними деформаціями, наслідком яких є створення пружних коливань у підвісках вантажів, що однозначно копіюються такими ж коливаннями вантажів, у тому числі на етапах їх вкладки. При цьому на програмоване кінематичне переміщення накладаються додаткові коливання з певними амплітудами, що дає змогу формулювати завдання з обмеження швидкостей контактування вантажів з опорними площинами (Соколенко, Степанець & Пригодій, 2017).

У разі гнучких підвісок вантажів змінної довжини в математичних моделях перехідних процесів виникає необхідність переходу до нелінійних систем. Така особливість у сукупності з очікуваним подвійним позитивним результатом визначає актуальність цього дослідження.

Мета дослідження: визначення динамічних параметрів перехідних процесів, за яких можливе безударне вкладки вантажів на опорні площини.

Матеріали і методи. В основі різних форм опису динаміки машин використані принципи Д'Аламбера-Лагранжа і можливих переміщень, які, у свою чергу, є відображенням закону збереження енергії, закони Ньютона і Гука. Складання математичних моделей базувалося на загальновизнаних у класичній механіці гіпотезах і припущеннях. Розроблені математичні моделі і розрахунки на їх основі пройшли перевірку на адекватність експериментальною частиною дослідження.

Викладення основних результатів дослідження. Введення в аналітичну модель жорсткості як функції довжини підвіски за заданого закону руху ведучої маси автоматично визначає жорсткість функцією часу. Оскільки за формою запису

$$c = \frac{EF}{l_0 + x(t)}, \quad (1)$$

то це й визначає жорсткість як нелінійну функцію, тим паче, що й координата переміщення $x(t)$ має складний характер залежності від часу та інших динамічних параметрів системи.

Перехід до нелінійної системи означає неможливість розв'язання рівнянь руху у явному вигляді, а тому в розділі 3 після одержання загального вигляду диференціальних рівнянь руху другого порядку їх розв'язання й аналіз здійснювалися з використанням чисельних методів і програмного забезпечення Mathcad.

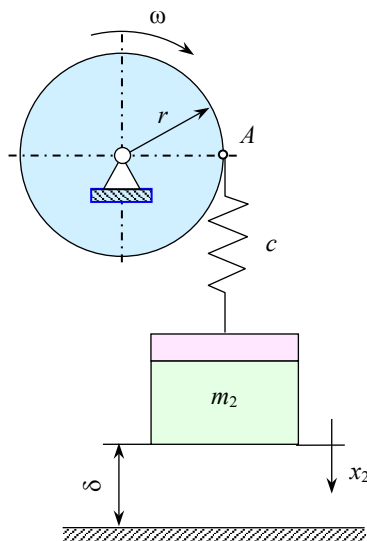


Рис. 1. Схема до моделювання процесу вкладки вантажів

Фізичне підґрунтя цієї частини дослідження: здебільшого привод захоплювальної (утримувальної) головки в пристроях для вкладки вантажів здійснюється з використанням пружної підвіски (рис. 1). В цьому випадку ведена маса m_2 підвішена гнучким пружним зв'язком з жорсткістю c на ведучому барабані або зірочці. При цьому заданий закон руху ведучої маси імітується швидкістю збігання гнучкого зв'язку в точці A , а тому принципове значення мають радіус барабана r та його кутова швидкість ω .

Від початку вертикального переміщення маси m_2 (сукупної маси захоплювальної головки і вантажів) починається перехідний процес, який супроводжується коливаннями. При цьому амплітуда і частота коливань залежать від співвідношення жорсткості підвіски c і маси m_2 .

Отже, в опусковому русі здійснюється вибирання зазору δ між вантажами і прийнятною площиною. На швидкість опускового руху маси m_2 , що визнача-

ється складовою частиною — добутком ωr (де ω і r — відповідно, кутова швидкість і радіус-вектор барабана), накладається динамічна складова швидкості коливального процесу.

При цьому відмітимо, що в лінійних двомасових моделях значення амплітуди коливань швидкості дорівнює статичній складовій, тобто величині ωr . Це означає, що мінімальне значення швидкості у таких процесах $\dot{x}_{2\min} = 0$, а максимальна величина $\dot{x}_{2\min} = 2\omega r$. Тож дотикання маси m_2 до приймальної площини, що відповідає моменту вибору зазору δ ($x_2 = \delta$), може відбуватися у спектрі значень $\dot{x}_2$ в межах

$$0 \leq \dot{x}_2 \leq 2\omega r.$$

Очевидно, що верхня межа $\dot{x}_2$ буде дещо меншою за величину $2\omega r$ через дисипативні явища, однак рівень вказаних відхилень визначається співвідношенням $\sqrt{c/m_2}$. Зі зменшенням частоти власних кругових коливань рівень дисипації знижується і навпаки.

За наявності в системі підвіски вантажів додаткових пружних елементів існує можливість підсилювати або, навпаки, послаблювати рівень дисипативних процесів.

Можливість використання ідеї реалізації безударного вкладання вантажів за значень $\dot{x}_2 \approx 0$ значною мірою визначається величинами δ , ωr та швидкістю затухання коливальних процесів (рис. 2). З теорії коливань відомо, що перші два-три піки динамічних навантажень і швидкостей мало залежать від дисипативних явищ, а тому в певних діапазонах параметрів системи кінцеві результати можуть бути різними. З рис. 2 видно, що найкращий результат досягався б на момент часу t_1 вибирання зазору δ , а найгіршому відповідає момент часу t_2 , а за досягнення якогось часу t_n у зв'язку з дисипацією швидкість контактування $\dot{x}_2 \approx \omega r$.

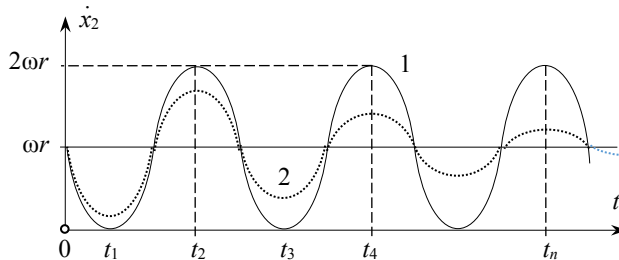


Рис. 2. Ілюстрація залежності $\dot{x}_2 = \dot{x}_2(t)$ за відсутності дисипативних явищ (1) і за їх наявності (2)

Наведені кінематичні співвідношення стосуються лінійних систем, однак за обмеженої величини l_0 зміни жорсткості c стають помітними, а тому виникає необхідність детального вивчення в таких умовах динамічних явищ.

Досвід динаміки машин і теорії коливальних процесів вказує на те, що власні частоти кругових коливань систем завжди визначаються через співвідношення жорсткостей і мас. Оскільки в нелінійних системах маємо змінне значення

жорсткості, то слід очікувати і зміну частоти власних коливань. Дати остаточну відповідь про наявність такої залежності можна за рахунок аналізу розв'язань рівнянь руху у вигляді:

$$m_2 \ddot{x}_2 = m_2 g - \frac{EF(x_1 - x_2)}{l_0 \pm x_2}, \quad (2)$$

де знак «+» вказує на опускний рух маси m_2 , а знак «-» — на піднімання маси m_2 і скорочення довжини підвіски.

Очевидно, що зміни жорсткості і прогнозовані зміни частоти власних коливань зростають з плином часу, а тому найкращий результат з обмеження швидкості контактування вантажів з опорною площиною слід визначити як відмічений на рис. 2 час t_1 . Оскільки для лінійних систем маємо співвідношення:

$$\sqrt{\frac{c}{m_2}} T = 2\pi, \quad (3)$$

де T — період власних кругових коливань системи, то

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m_2}{c}}, \quad (4)$$

а для часу t_1 маємо $t_1 = T/4$ і прогнозоване значення часу досягнення мінімальної швидкості контактування:

$$t_1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m_2}{c}}. \quad (5)$$

Для нелінійної системи записуємо:

$$t_1 \approx \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m_2}{c}}. \quad (6)$$

Умови (5) та (6) мають виконуватись за співвідношення:

$$x_2(t_1) = \delta. \quad (7)$$

Останнє означає необхідність розв'язання умови (2) й одержання залежностей $x_2 = x_2(t)$ та $\dot{x}_2 = \dot{x}_2(t)$, на основі яких за рахунок відповідного значення жорсткості досягне швидкості $\dot{x}_2(t_1) = 0$.

Наведені співвідношення дають підстави порушити питання про більшу доцільність використання лінійних або нелінійних систем. При цьому слід мати на увазі можливість до суттєвого наближення нелінійної системи до лінійної за рахунок встановлення в підвіску додаткового пружного елемента з обмеженою жорсткістю c_d .

Оскільки таке встановлення здійснюється як послідовне, то загальна жорсткість визначається з формули:

$$c_{\text{заг}} = \frac{1}{1/c + 1/c_d} = \frac{cc_d}{c + c_d}. \quad (8)$$

У нашому випадку одержуємо:

$$c_{\text{заг}} = \frac{EFc_d}{(l_0 \pm x_2) \left(\frac{EF}{l_0 \pm x_2} + c_d \right)}. \quad (9)$$

Аналіз останньої залежності показує, що зростання різниці між величинами c та c_d все більше нівелює вплив переміщення x_2 .

Разом з тим розв'язання задачі мінімізації швидкості контактування вантажів з приймальною опорною площиною може досягатися за рахунок зміни параметра ωr . Остання варіація може здійснюватися як зміною кутової швидкості ω , так і за рахунок зміни радіуса-вектора r (рис. 3). При цьому повинно виконуватися наближене співвідношення: $\delta \approx \cup AB$, а в рівняння (2) необхідно внести зміни, пов'язані з координатою переміщення x_1 . Значення радіуса вектора r за час повороту барабана (зірочки) на кут $\pi/2$ змінюється в сторону зменшення від $r = r_A$ до $r = r_B$. Тож радіус вектор r є функцією кута повороту ведучого елемента φ з точки зору інтересів переміщення ведучої маси, тобто $r = r(\varphi)$. Оскільки обрано значення $\omega = \text{const}$, то маємо $\varphi = \omega t$ і $r = r(\omega t)$.

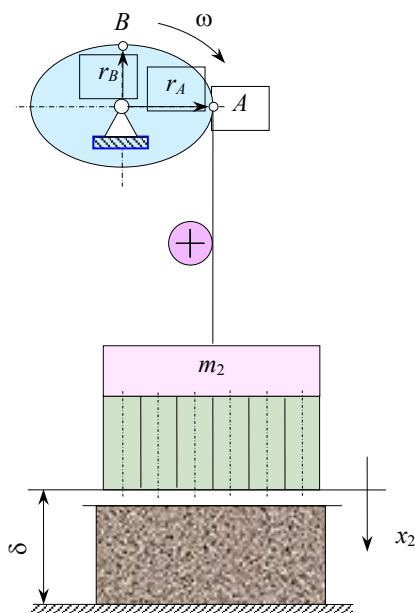


Рис. 3. Схема до випадку зі змінною швидкістю ωr опускного руху маси m_2 за рахунок змінного радіуса вектора барабана r (зірочки)

Якщо, наприклад, блоку надати форму еліпса з канонічним рівнянням:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

де a та b — відповідно, менша та більша напівосі, то в полярних координатах записується співвідношення між радіусом вектором r і кутом повороту φ :

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \varphi}, \quad (10)$$

де $p = b^2/a$ — фокальний параметр; $l = \sqrt{a^2 - b^2}/a$ — ексцентриситет.

Відмітимо при цьому наявність взаємозв'язку між зміною радіуса вектора, кута повороту $\varphi = \omega t$ та довжиною дуги, що відповідає переходу від r_1 до r_2 тощо. Очевидно, що форма дуги AB може відповідати різним законам руху $x_1 = x_1(t)$ та $r = r(t)$ і їх сполученням відповідають певні зв'язки, які можуть встановлюватися завдяки використанню існуючого арсеналу геометрії. Практично для реалізації розрахунків за формулою (2) необхідно і достатньо мати залежність $x_1 = x_1(t)$.

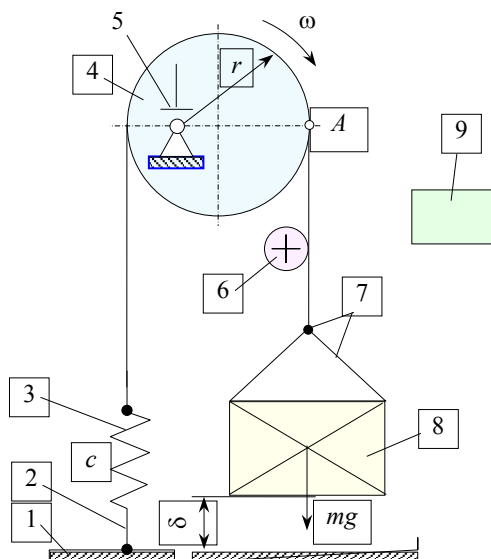


Рис. 4. Схема експериментального стенда: 1 — каркас; 2 — гнучка підвіска; 3 — пружина; 4 — блок; 5 — гальмо; 6 — ролик-орієнтатор; 7 — підвіска; 8 — вантаж; 9 — блок контролю параметрів системи

Експериментальна частина досліджень виконувалась на спеціально сконструйованому і виготовленому стенді (рис. 4). При цьому визначалися співвідношення кінематичних і динамічних параметрів вкладання вантажів на приймальну платформу в умовах, коли рушійні сили були представлені силами тяжіння. До складу стенда входять: каркас зі змонтованим на ньому з можливістю обертання блоком. При цьому блок виконано з можливістю встановлення його осесиметрично або асиметрично із заданою величиною ексцентриситету. Осесиметричне встановлення блока приводить до сталого значення радіуса вектора r , а асиметричне — забезпечує змінну величину r і $r = r(\varphi)$, де φ — кут повороту блока.

До складу блока входить гальмо, яким забезпечується регулювання величини моменту опору обертанню блока, а до складу холостої гілки включено пружину з жорсткістю c , яка в досліджах варіювалася.

Холоста гілка підвіски пружиною з'єднувалася з каркасом. Пружина виконувала роль протидіючого елемента і зі збільшенням величини переміщення вона зростала, тобто була функцією переміщення вантажу, тоді як протидія переміщенню з боку гальма була сталою в кожному окремому досліді.

Експериментальною частиною досліджень здійснювалася перевірка на адекватність теоретичних моделей процесів безударного вклатання вантажів.

Стосовно схеми на рис. 4 в експериментальних дослідженнях значення мас m складали 5, 10, 15 і 20 кг, а жорсткість паралельним набором пружин змінювалася і складала величини 2500, 5000, 7500 і 10000 Н/м. За допомогою камери з відмітчиком часу фіксувалися величини переміщень, а за рахунок запобіжника зворотного ходу визначалося крайнє нижнє положення підвіски.

Маса блока враховувалася в розрахунковій моделі як додаткова приведена інерційна маса, у зв'язку з чим рівняння руху записується у формі:

$$(m + m_0) \ddot{x} = mg - cx - P_{\text{оп}}, \quad (11)$$

де m_0 — приведена маса блока; $P_{\text{оп}}$ — приведена сила опору, що створюється гальмівним пристроєм.

Звідси знаходимо:

$$\ddot{x} + \frac{c}{m + m_0} x = \frac{m}{m + m_0} g - \frac{P_{\text{оп}}}{m + m_0}; \quad (12)$$

$$x = A \sin \sqrt{\frac{c}{m + m_0}} t + B \cos \sqrt{\frac{c}{m + m_0}} t + \frac{m}{c} g - \frac{P_{\text{оп}}}{c}. \quad (13)$$

Сталі інтегрування A та B визначаються за початкових умов:

$$t_{(n)} = 0; \quad x_{(n)} = 0; \quad \dot{x}_{(n)} = 0; \quad (14)$$

$$B = \frac{P_{\text{оп}}}{c} - \frac{mg}{c} = \frac{P_{\text{оп}} - mg}{c}.$$

Тоді остаточно маємо:

$$x = \frac{P_{\text{оп}} - mg}{c} \cos \sqrt{\frac{c}{m + m_0}} t + \frac{mg - P_{\text{оп}}}{c}; \quad (15)$$

$$\dot{x} = \frac{mg - P_{\text{оп}}}{c} \sqrt{\frac{c}{m + m_0}} \sin \sqrt{\frac{c}{m + m_0}} t. \quad (16)$$

Період коливального процесу $T = 2\pi \sqrt{\frac{m + m_0}{c}}$, а час досягнення $\dot{x} = 0$ стано-

вить: $t_{\dot{x}=0} = \frac{T}{2} = \pi \sqrt{\frac{m + m_0}{c}}.$

Приведена маса в дослідженнях складала величину $m_0 = 2$ кг. Вона не впливає на величину рушійних сил і сил опору, але певною мірою впливає на частоту власних колових коливань і на амплітуду коливань швидкості.

Розрахункові дані, що стосуються часу $t_{\dot{x}=0}$ досягнення швидкості $\dot{x} = 0$ наведені в табл. 1, а в табл. 2 — величини координат переміщення, що досягаються на цей момент часу.

Таблиця 1. Дані з визначення часу t досягнення швидкості $\dot{x} = 0$ в коливальному процесі, с

$c, \text{ Н/м}$ $m+m_0, \text{ кг}$	1000	2500	5000	7500	10000
7	0,262	0,166	0,117	0,096	0,083
12	0,344	0,218	0,18538	0,126	0,109
17	0,409	0,259	0,183	0,149	0,129
22	0,465	0,295	0,208	0,17	0,147
102	1,0	0,634	0,448	0,366	0,317
202	1,41	0,893	0,631	0,515	0,446
302	1,795	1,09	0,77	0,63	0,546

Таблиця 2. Значення координат переміщення x на момент часу $t_x = 0$, м

$c, \text{ Н/м}$ $m+m_0, \text{ кг}$	1000	2500	5000	7500	10000
7	0,137	0,055	0,027	0,018	0,014
12	0,235	0,094	0,047	0,031	0,0235
17	0,333	0,133	0,067	0,0444	0,0333
22	0,43	0,173	0,086	0,0576	0,043
102	2,0	0,8	0,4	0,267	0,2
202	—	—	0,793	0,528	0,396
302	—	—	—	0,79	0,592

Розрахунки до табл. 2 виконано за прийнятого значення $P_{\text{оп}} = 0$. Врахування заданої величини $P_{\text{оп}}$ не змінює частоту власних колових коливань системи і час досягнення $t_x = 0$, однак обмежує амплітуду коливань швидкості і величину переміщення на той же час. За граничного значення $P_{\text{оп}} = mg$ переміщення підвіски взагалі не відбувається. У зв'язку з цим сила опору виступає в ролі регулювального фактора, який може суттєво впливати на діапазон можливого використання техніки безударного вкладання вантажів, у тому числі і з використанням гравітаційних сил.

Експериментальній перевірці підлягала вибірка співвідношень параметрів, наведена у табл. 3.

Таблиця 3. Зіставлення теоретичних і експериментальних даних щодо величини координати переміщення на час $t_x = 0$

$c, \text{ Н/м}$ $m+m_0, \text{ кг}$	1000		2500		5000	
	Теор.	Експер.	Теор.	Експер.	Теор.	Експер.
7	0,137	0,125	0,055	0,048	0,027	0,022
12	0,235	0,22	0,094	0,082	0,047	0,041
17	0,333	0,312	0,133	0,121	0,067	0,059
22	0,43	0,405	0,173	0,161	0,086	0,078

У стовпці, що відповідає експериментальним вимірам, занесені показники середніх значень, одержаних у результаті стандартної статистичної обробки масивів експериментальних даних.

Висновки

Викладені методики підходів до аналізу динамічних систем на основі енергетичних співвідношень і динаміки взаємодії мас дають змогу стверджувати, що:

1. Сучасний аналітичний апарат з високим рівнем імовірності надає можливість створювати математичні моделі для опису процесів вкладання вантажів на приймальні площини в режимі їх безударного контактування.

2. Числові показники величин переміщень вантажів на момент контактування при нульовій швидкості мають широкий діапазон, який визначається співвідношенням мас і жорсткостей та рушійних сил і сил опору.

3. Можливим є виконання системи, в якій регулювальні ефекти досягаються встановленням спеціальних інерційних мас.

4. Порівняння теоретичних і експериментальних даних показують, що розбіжність між ними в дослідженнях процесів безударного вкладання вантажів не перевищує 15%.

Література

Кодра, В. В., Стоцько, З. А. (2004). *Технологічні машини. Розрахунок і конструювання*. Львів: Львівська політехніка.

Кожевников, С. Н. (1993). *Теория механизмов и машин*. Москва: Машиностроение.

Криворотько, В. М., Соколенко, А. І., Бут, С. А., Васильківський, К. В. (2014). Динаміка і рекуперація вторинних енергетичних ресурсів у механічних системах. *Наукові праці НУХТ*, 20(1), 171—180.

Соколенко, А. І., Васильківський, К. В., Костюк, В. С. (2016). Про можливості рекуперації кінетичної енергії в машинах і механізмах. *Харчова промисловість*, 19, 92—99.

Соколенко, А. І., Васильківський, К. В., Степанець, О. І. Рекуперація кінетичної енергії в технологічних машинах. *Харчова промисловість*, 20, 138—145.

Соколенко, А. І., Степанець, О. І., Пригодій, Д. В. (2017). Регулювання ходу машин. *Харчова промисловість*, 21, 155—163.

Соколенко, А. І., Яровий, В. Л., Піддубний, В. А. (2004). *Моделювання процесів пакування*. Вінниця: Нова книга.

Фролов, К. В., Попов, С. А., Пуш, А. В., Мусатов, А. К. (1998). *Теория механизмов и машин*. Москва: Высшая школа.

VOLT-AMPERE CHARACTERISTIC OF THE SUPERCONDUCTIVE NANOSTRUCTURE WITH THE ANDREEV REFLECTION INDUCED BY THE MAJORANA FERMIONES

A. Korol, N. Medvid'

National University of Food Technologies

Key words:

*Majorana fermions
Andreev reflection
Volt-ampere
characteristic*

Article history:

Received 28.04.2021
Received in revised form
11.05.2021
Accepted 19.05.2021

Corresponding author:

N. Medvid'

E-mail:

medvidnv17@gmail.com

ABSTRACT

One of the modern quantum mechanical nanostructures in which the appearance and detection of Majorana fermions takes place was considered. There are a lot of propositions on how to create and to detect the Majorana modes. Some various structures were investigated for this purpose. The two-terminal device where a superconducting island was deposited on a three dimensional topological insulator was investigated. The branch of chiral Majorana particles was located at the interface between the semiconductor and the ferromagnetic material. In this structure, it was possible to realize the Andreev reflection induced by the Majorana fermions. To control the Majorana modes one must be able only not to create them but also to tune the resulting current-voltage characteristic of the given structure. One of the simplest models which allowed to analyze the relevant characteristics and propose the additional possibilities to tune the superconducting current was considered. In this model, an incident from the lead electron was converted into a backscattered hole with probability equal to one. Such a process may be called as a Majorana particle induced Andreev reflection. On the basis of the simplified Hamiltonian, the expressions for the transmission coefficient and the volt-ampere dependence of this structure were calculated and analyzed. It is shown that these characteristics can be flexibly adjusted using certain structure parameters, in particular, by changing the Fermi velocity of quasielectrons. Two Majorana bound states may encode a single qubit nonlocally. Such a qubit can be robust against the local source of decoherence and hence can provide a good building block for topological quantum computations. Since Majorana particles are non-Abelian fermions they may be useful in the potential applications for quantum computations free from decoherence.

ВОЛЬТ-АМПЕРНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАДПРОВІДНОЇ НАНОСТРУКТУРИ З АНДРІЇВСЬКИМ ВІДБИВАННЯМ, ІНДУКОВАНИМ ФЕРМІОНАМИ МАЙОРАНИ

А. М. Король, Н. В. Медвідь

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто одну із сучасних квантовомеханічних наноструктур, у якій можливим є появлення і детектування ферміонів Майорани. Існує багато пропозицій щодо того, як можна створювати і детектувати майоранівські моди. З цією метою розглянуто низку різноманітних наноструктур. Досліджено двотермінальний пристрій, в якому надпровідний острів накладається на тривимірний топологічний ізолятор. Гілка кіральних частинок Майорани локалізована на інтерфейсі між надпровідником і феромагнітним матеріалом. У цій структурі можлива реалізація андріївського відбивання, індукованого ферміонами Майорани. Щоб контролювати майоранівські моди, необхідно не тільки вміти їх створювати, а ще й мати змогу регулювати вольт-амперні характеристики цієї структури.

Розглянуто просту модель, яка дає змогу аналізувати відповідні характеристики і запропоновано додаткові можливості регулювання надпровідного струму. В цій моделі електрон, що падає на електрод, перетворюється на відбиту з імовірністю одиниця дірку. Такий процес може бути названо андріївським відбиванням, індукованим частинками Майорани. На підставі спрощеного гамільтоніана розраховуються й аналізуються вирази для коефіцієнта трансмісії та вольт-амперної залежності цієї структури. Показано, що ці характеристики можна гнучко регулювати за допомогою певних параметрів структури, зокрема змінюючи швидкість Фермі квазіелектронів. Два майоранівські зв'язані стани можуть не локально кодувати одиничний кубіт. Такий кубіт може бути стійким стосовно локального джерела декогерентності і тому дає змогу забезпечити надійний будівельний блок для квантових комп'ютерів. Оскільки частинки Майорани є неабелівськими ферміонами, вони можуть бути корисними для потенційних застосувань у квантових комп'ютерах, вільних від декогеренції.

Ключові слова: ферміони Майорани, андріївське відбивання, вольт-амперна характеристика.

Problem definition and its relationship with important practical tasks. Majorana particles are the particles which coincide with the own self-conjugated ones. Since these are non-Abelian fermions they may be useful in the potential applications for quantum computations free from decoherence. Two Majorana bound states may encode a single qubit nonlocally. Such a qubit can be robust against the local source of decoherence and hence can provide a good building block for topological quantum computations (Law, Lee & Ng, 2009).

There are a lot of propositions how to create and to detect the Majorana modes. Some various structures were investigated for this purpose (Law, Lee & Ng, 2009) and references therein). But to control the Majorana modes one must be able only not to create them but also to tune the resulting current-voltage characteristic of the given structure. One of the simplest models which allowed to analyze the relevant characteristics and propose the additional possibilities to tune the superconducting current was considered in our work. In this model, an incident from the lead electron was converted into a backscattered hole with probability equal to one. Such a process may be called Majorana particle induced Andreev reflection.

The purpose of the article was to investigate the process of current passage in the modern quantum structure in which the Majorana fermions played the leading role.

Model and Formulae. The two-terminal device where a superconducting island was deposited on a three dimensional topological insulator was considered. The branch of chiral Majorana particles was located at the interface between the semiconductor and the ferromagnetic material. Majorana operators were denoted by f . The lead was coupled to the Majorana fermions at a point x_0 by the parameter t_1 . The Hamiltonian of this structure in the simplest case may be presented as follows:

$$\begin{aligned} H &= H_L + H_T + H_M, \\ H_L &= i v_f \int \varphi^*(x) \partial_x \varphi(x) dx, \\ H_T &= -i t_1 f(x_0) [\varphi^*(x) + \varphi(x)], \\ H_M &= i v_m \int_0^L f(x) \partial_x f(x) dx \end{aligned} \quad (1)$$

where H_M , H_T , H_L are the Hamiltonians of the chiral Majorana fermion mode, the coupling one and the lead one respectively, v_f , v_m Fermi velocity of the lead and of the Majorana mode respectively, $\varphi(x)$ is the Fermi field, measure units with $e = c = v_m = \hbar = 1$ were adopted. The transmission coefficient can be derived by means of the scattering matrix technique and it was equal to

$$T(E) = t^4 [1 + \cos(z)] / \{1 - \cos(z) + t^4 [1 + \cos(z)]\} \quad (2)$$

where $z(k, n) = kL + \pi + \pi n$ is the phase of the Majorana fermion, $k = \alpha E$ — its wave vector, E — particle energy, L is the circumference of the superconductive island, π — the Berry phase contribution from the spin, n — the number of vortices in the superconductor, $t = t_1 (2\sqrt{v_f v_m})$. Current-voltage characteristic was defined as

$$I = I_0 \int_0^V T(E) dE \quad (3)$$

where V is the applied voltage and $I_0 = 1$ was put.

Results and Discussion. Analyzing the obtained formulas, first of all it was noted that the transmission coefficient and current were influenced by many parameters, namely: n , t , v_f , v_m ; also here the parameter α should be included, bearing in mind that it is a coefficient of proportionality between the wave number k and the energy of the Majorana quasielectron E . It followed from the structure of formula (2) that a change in the number of vortices n led to a shift of the maxima and minima on the abscissa axis in the

spectra being analyzed. It is important that the even values of n (including $n = 0$) corresponded to the maxima in the functions $T(E)$ and $I(V)$ at the point $E = 0$, and for odd n the minima of these functions were obtained. This situation corresponded to the fact that for the even number of vortices the Andreev reflection probability was quantized, and for an odd number — it wasn't.

It should be emphasized that one of the most convenient parameters with which the spectra of $I(V)$ can be flexibly adjusted was the Fermi velocity v_f . It is known that by changing this value, the spectra $T(E)$ can be changed in a wide range, in particular in graphene. Therefore, considerable attention was paid to the study of experimental possibilities for obtaining and proposals of using in practice a spatially dependent value of v_f (Wang, Liu & Wang, 2013; Concha, Tešanović, 2010; Korol, 2019; Korol & Medvid, 2019). Since Majorana modes can be observed in contact structures with graphene, priority in this paper should be given to the analysis of the dependence of the spectra on the v_f .

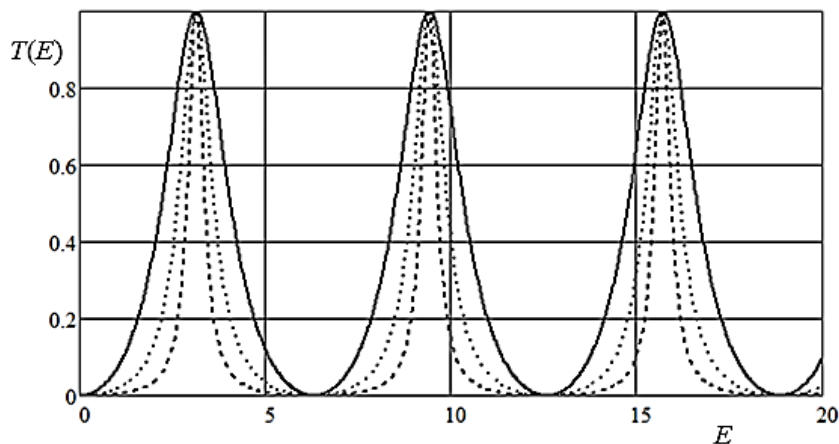


Fig. 1. T vs E dependence (parameter values in the text)

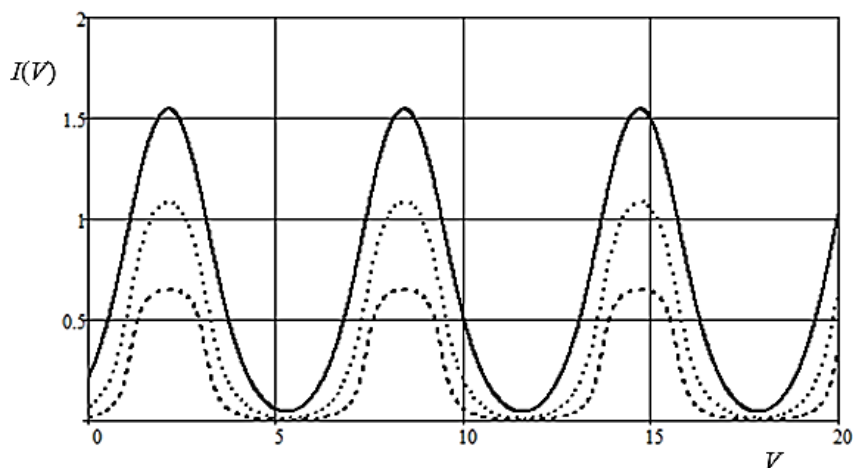


Fig. 2. I vs V dependence (parameter values in the text)

Figs. 1, 2 show the dependences $T(E)$ and $I(V)$ respectively for the following parameter values: $n = 1$, $t = 1$, $\alpha = 1$ and three different values of $v_f = 0.5, 1, 2$ for the solid, dashed and dashed-dotted lines respectively. It is seen that the difference in the function $I(V)$ for different v_f was significant. Therefore, the spectra of $I(V)$ can be flexibly adjusted with the help of the Fermi velocity v_f .

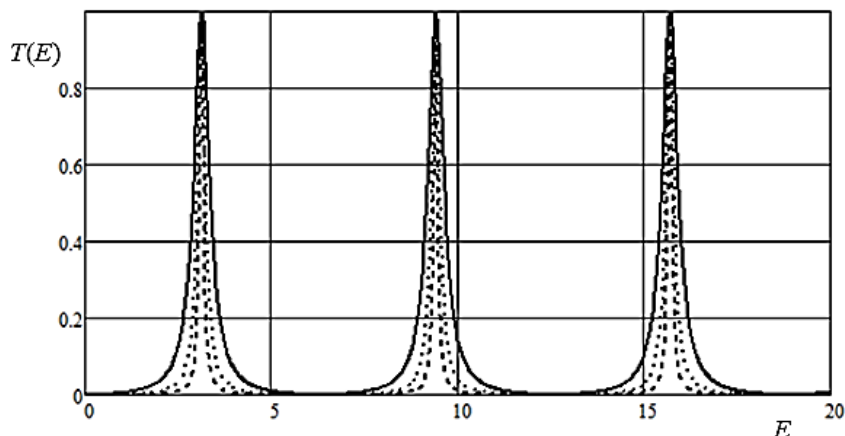


Fig. 3. T vs E dependence (parameter values in the text)

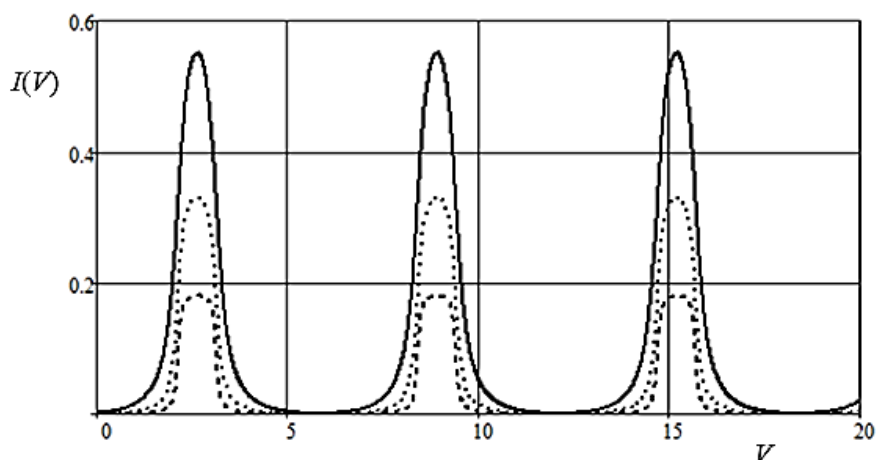


Fig. 4. I vs V dependence (parameter values in the text)

Figs. 3, 4 represent the functions $T(E)$ and $I(V)$ for another value of the coupling strength, namely $t = 0.5$ at the same values of other parameters as in Figs. 1, 2. Here the curves for $T(E)$ for different v_f differ less than for the case of $t = 1$, but the curves $I(V)$ in the vicinity of the maximum values differ significantly. It should be noted that the change in t led to a very noticeable change in such an important for experimental study of the Majorana mode parameter as the half-width of the resonant peaks. Since the value of t was in the fourth power, these half-widths were quite sensitive to changes in this parameter, which was clearly seen in the given figures. This change was noticeable even after the integration required to obtain the $I(V)$ function.

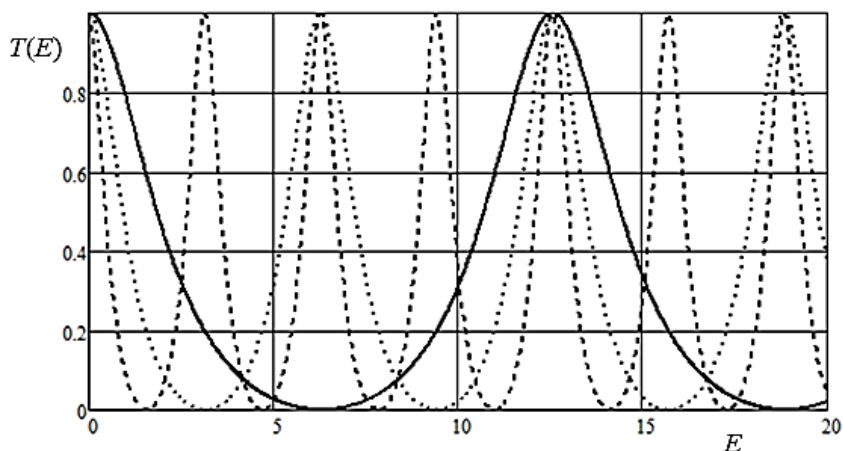


Fig. 5. T vs E dependence (parameter values in the text)

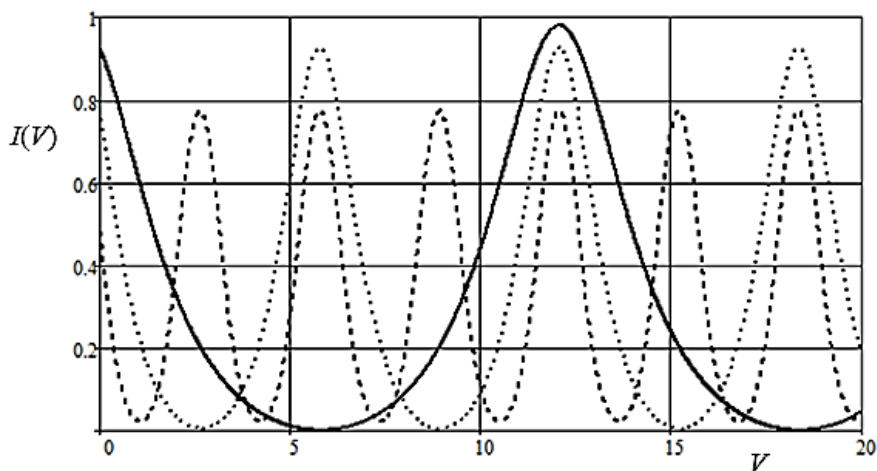


Fig. 6. I vs V dependence (parameter values in the text)

Fig. 5, 6 illustrate the dependences of $T(E)$ and $I(V)$ for different values of the parameter α : for $t = 2$, $n = 0$, $\alpha = 0.5, 1, 2$ for the solid, dashed and dashed-dotted lines respectively. It can be seen that the change in α significantly affected not only the position of the maxima of these functions on the abscissa axis (which naturally followed from formula (2)), but — and this is important — changes the current amplitude values.

Fig. 7—9 show the functions $T(E)$ and $I(V)$ for several other sets of values of the problem parameters which were as follows: for Fig. 7. $T(E)$, $n = 0$, $\alpha = 1$, $v_f = 0.5, 1, 2$; for Fig. 8. $T(E)$, $n = 0$, $v_f = 1$, $\alpha = 0.5, 1, 2$; for Fig. 9. $I(V)$, $n = 0$, $v_f = 0.5$, $\alpha = 0.5, 1, 2$.

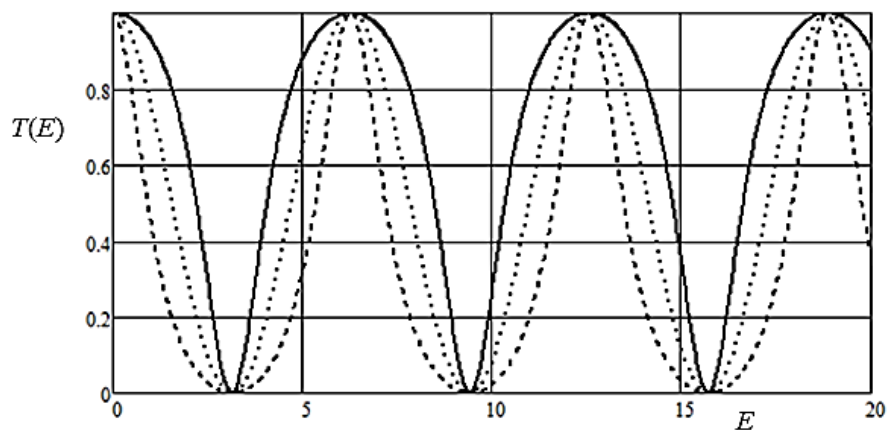


Fig. 7. T vs E dependence (parameter values in the text)

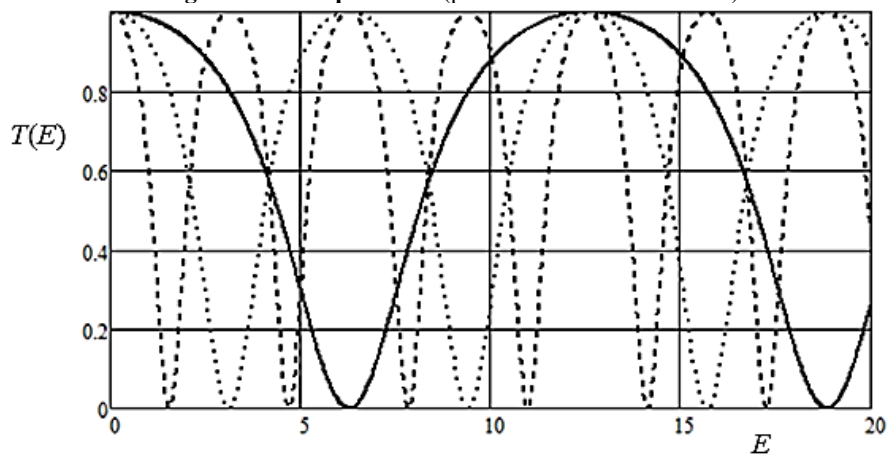


Fig. 8. T vs E dependence (parameter values in the text)

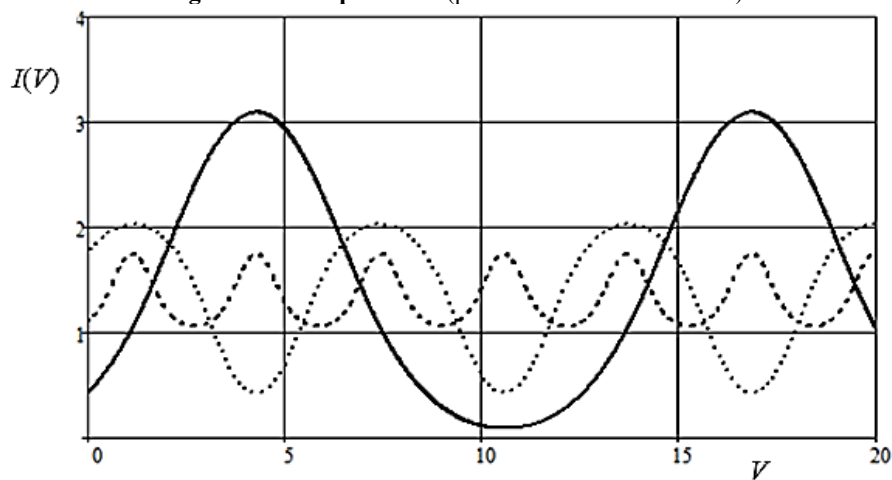


Fig. 9. I vs V dependence (parameter values in the text)

Conclusions

In this paper, the volt-ampere characteristic of a quantum nanostructure was calculated and analyzed, in which the superconducting current was determined by the Andreev reflection; the latter in turn was caused by the existence of the Majorana particles. The current-voltage characteristic, in particular such an important its feature as the half-width of the resonant peaks, significantly depended on the Fermi velocity of quasi-electrons. The obtained results can be useful in the development of quantum computers.

References

- Concha, A., Tešanović, Z. (2010). Effect of a velocity barrier on the ballistic transport of Dirac fermions. *Phys Rev., B* 82, 033413.
- Korol, A. M. (2019). Tunneling conductance of the s-wave and d-wave pairing superconductive graphene — normal graphene junction. *Low Temperature Physics*, 45(5), 493—499.
- Korol, A. M., Medvid, N. V. (2019). Influence of the Fermi velocity on the transport properties of the 3D topological insulators. *Low Temperature Physics*, 45(10), 1311—1316.
- Law, K. T., Lee, Patrick A., Ng, T. K. (2009). Majorana Fermion Induced Resonant Andreev Reflection. *Phys. Rev. Lett.*, 103, 237001.
- Wang, Y., Liu, Y., Wang, B. (2013). Resonant tunneling and enhanced Goos-Hanchen shift in a graphene double velocity barrier structure. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 53, 186—192.

CHANGE OF PHYSICOCHEMICAL AND ORGANOLEPTIC PARAMETERS OF MILK WITH BIOLOGICALLY ACTIVE IODINE DURING STORAGE

D. Dalievska, O. Pokotylo

Ternopil Ivan Pulyuj National Technical University

Key words:

Drinking milk

Iodine

Iodine deficiency

Physicochemical

parameters

Organoleptic parameters

Article history:

Received 23.04.2021

Received in revised form

30.04.2021

Accepted 12.05.2021

Corresponding author:

D. Dalievska

E-mail:

dalievska.d@gmail.com

ABSTRACT

Iodine is a trace element needed by the body to ensure the functioning of thyroid hormones, which regulate the body's metabolism. Insufficient amount of it in the body can cause iodine deficiency diseases. Providing the body with sufficient iodine is the only way to prevent iodine deficiency, so expanding the range of products with iodine, including dairy products, is an important issue today. Milk with a biologically active additive "Iodis-concentrate" is a source of the required amount of iodine in the body. "Jodis concentrate" is a certified biologically active additive which is widely used in the food industry. It is applied in water production and the meat industry.

The purpose of this work was to study the physicochemical and organoleptic characteristics of milk during storage. Studies of milk samples were conducted in the laboratory of milk technology and dairy products at the Department of Food Biotechnology and Chemistry of Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyuy. Milk with a mass fraction of fat of 2.5%, TM "Molokiya" was used as the raw material. The biologically active additive "Iodis-concentrate" was used as the source of iodine. According to research, biologically active iodine did not affect the physicochemical and organoleptic characteristics of drinking milk during storage.

As a result of the conducted researches it was established that the biologically active additive "Iodis-concentrate" did not influence the titrated acidity ($^{\circ}\text{T}$) and active acidity of drinking milk during storage. At the same time, the biologically active additive "Iodis-concentrate" did not affect the mass fraction of fat (%) and density (kg/m^3) of drinking milk during storage. According to the obtained results, the biologically active supplement "Iodis-concentrate" can be the source of enriching the body with an important trace element — iodine.

The advantage of producing milk with the addition of biologically active additive "Iodis-concentrate" is that it does not require the manufacturer to install additional equipment. Every dairy company will be able to produce dairy products with the addition of biologically active iodine.

ЗМІНА ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ТА ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ МОЛОКА З БІОЛОГІЧНО АКТИВНИМ ЙОДОМ У ПРОЦЕСІ ЗБЕРІГАННЯ

Д. Я. Далєвська, О. С. Покотило

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Йод — це мікроелемент, потрібний організму для забезпечення функціонування гормонів щитоподібної залози, яка регулює процес метаболізму в організмі. Забезпечення організму достатньою кількістю йоду — єдиний спосіб запобігання йододефіциту, тому розширення асортименту продуктів харчування з йодом, зокрема молочних, важлива проблема сьогодення. Молоко з біологічно активною добавкою «Йодіс-концентрат» є джерелом необхідної кількості йоду в організмі. «Йодіс-концентрат» — це сертифікована, біологічно активна добавка, яка широко використовується в харчовій промисловості. Своє застосування вона знайшла вже у виробництві води та м'ясній промисловості.

У статті досліджено фізико-хімічні та органолептичні показники молока в процесі зберігання. Дослідження зразків молока проводилися в лабораторії технології молока і молочних продуктів на кафедрі харчової біотехнології і хімії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Сировиною виступало молоко-сировина з масовою часткою жиру 2,5%, ТМ «Молокія». Джерелом йоду послужила біологічно активна добавка «Йодіс-концентрат».

У результаті проведених досліджень встановлено, що біологічно активна добавка «Йодіс-концентрат» не впливає на титровану ($^{\circ}\text{T}$) та активну кислотність питного молока в процесі зберігання. Водночас біологічно активна добавка «Йодіс-концентрат» не впливає на масову частку жиру (%) та густину ($\text{кг}/\text{м}^3$) питного молока в процесі зберігання. Відповідно до отриманих результатів, біологічно активна добавка «Йодіс-концентрат» є лише засобом збагачення організму важливим мікроелементом — йодом.

Виготовлення молока з додаванням біологічно активної добавки «Йодіс-концентрат» не потребує від виробника встановлення додатково обладнання. Будь-яке молочне підприємство зможе виготовляти молочні продукти з додаванням біологічно активного йоду.

Ключові слова: питне молоко, йод, йододефіцит, фізико-хімічні показники, органолептичні показники.

Постановка проблеми. Недостатня кількість йоду в організмі здатна спричинити йододефіцитні захворювання. До них належать: йододефіцитний гіпотиреоз, дифузний нетоксичний зоб (ДНЗ), вузловий і багатовузловий еутиреодний зоб. Найчастіше трапляється збільшення розмірів щитоподібної залози — зоб. Першими ознаками йододефіциту у дорослих є погіршення пам'яті, тривожність, слабкість, депресія, постійне відчуття втоми, зниження розумової діяльності. Йододефіцит згубно впливає на дітей. Першими симптомами йододефіциту в

дітей є затримка фізичного та інтелектуального розвитку, порушення процесів обміну. Забезпечення організму достатньою кількістю йоду — єдиний спосіб запобігання йододефіциту, тому розширення асортименту продуктів харчування з йодом є важливою проблемою сьогодення.

Йододефіцит сьогодні — це глобальна проблема всього людства, оскільки може призвести до незворотних наслідків. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), патологічні стани, пов'язані з дефіцитом йоду, посідають третє місце у списку 38 найбільш поширених неінфекційних захворювань людини. Як вважають фахівці ВООЗ, третина населення Землі відноситься до так званої «групи ризику» та є потенційним об'єктом для розвитку йододефіцитних захворювань (ЙДЗ) (Маменко, 2013). Дослідження, проведені науковцями Інституту ендокринології та обміну речовин ім. В. П. Комісаренка Національної академії медичних наук за підтримки ВООЗ, показали, що для більшості областей характерний йододефіцит легкого ступеня, середнього — для північних, деяких центральних і південних місцевостей, важкого ступеня — для західних областей України (Кравченко, 2006).

Розробка молочних продуктів з додаванням біологічно активного йоду дасть змогу вирішити проблеми йододефіциту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні найбільш перспективною є концепція створення молочних йодовмісних продуктів, які покращують функціонування щитовидної залози. Виготовлення такої продукції набирає обертів. Молочні підприємства, зокрема ПрАТ «Тернопільський молокозавод» та Козятинський молокозавод (Вінницька обл.), намагалися виготовляти йодовмісні молочні продукти. Першими споживачами йодованих молочних продуктів стали мешканці Козятина й Тернополя. А великими замовниками — торговельні організації столиці (Рижкова, Лівощенко, & Бондаренко, 2011).

Н. В. Болгова працювала над створенням йодовмісних плавлених сирів. Джерелом йоду слугувала харчова добавка «Йодказеїн». Проте додавання цієї добавки спричиняє незначні структурні зміни в межах нормативної документації. Результати досліджень розроблених зразків плавленого сиру з «Йодказеїном» дають змогу стверджувати, що зі збільшенням харчової добавки структурно-механічні властивості підвищуються. Збільшення показника зусилля penetрації свідчить про ущільнення консистенції зі збільшенням відсотка внесеного йодказеїну (Болгова, 2019).

Спосіб виробництва кисломолочного напою, призначеного для усунення йододефіциту, удосконалено (Стеценко, 2019). Відповідно до норм, встановлених у ДСТУ 4343:2004. Йогурт. Загальні технічні умови, кислотність напою не повинна перевищувати 130°Т. З'ясовано, що додавання йодказеїну дещо пригнічує розвиток мікрофлори напою і наростання його кислотності в процесі зберігання. Використання йодказеїну для збагачення кисломолочного напою не погіршує фізико-хімічні показники готового продукту.

Мета статті: дослідження фізико-хімічних та органолептичних показників питного молока з використанням біологічно активної добавки «Йодіс-концентрат».

Матеріали і методи. Дослідження проводилися в лабораторії технології молока і молочних продуктів на кафедрі харчової біотехнології і хімії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

«Йодис-концентрат» рекомендований Міністерством охорони здоров'я України для щоденного вживання як профілактичний засіб для людей будь-якого віку. (Додаток до висновку санітарно-епідеміологічної експертизи № 05.03.02-06/49526 від 01.11.2005). Продукт: «Сировина для виробництва йодованих продуктів» ТУ У 15.9-30631018-007:2005.

Фізико-хімічні показники сировини-молока визначалися згідно з чинними нормативними документами (табл. 1).

Таблиця 1. Відповідність фізико-хімічних показників чинним нормативним документам

Показник	Метод контролювання згідно з чинним нормативним документом
Відбір проб	ДСТУ ISO 707
Масова частка жиру (%)	ДСТУ ISO 1211
Густина (кг/м ³)	ДСТУ 6082
Температура (°C)	ДСТУ 6066
Титрована кислотність (°T)	ГОСТ 3624
Активна кислотність (pH)	ДСТУ 8550
Група чистоти	ДСТУ 6083

Викладення основних результатів дослідження. Головною умовою якісного питного молока є сировина. Визначення якості сировини-молока проводилося згідно з чинними нормативними документами. Кількість зразків, які бралися для дослідження кожного виду молока, була кратною 5. Органолептичні показники сировини-молока наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Органолептичні показники сировини-молока

Показник	Характеристика
Консистенція	Однорідна рідина, без пластівців білка та осаду
Смак і запах	Чистий, притаманий свіжому молоку, без сторонніх присмаків і запахів
Колір	Білий

Результати фізико-хімічних досліджень сировини-молока наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Результати фізико-хімічних досліджень сировини-молока

Показник	Результат досліджень
Масова частка жиру (%)	2,5
Густина (кг/м ³)	1028
Температура (°C)	4
Титрована кислотність (°T)	17
Активна кислотність (pH)	6,67
Група чистоти	I

З огляду на показники, наведені в табл. 3, можна стверджувати, що сировина-молоко відповідає гатунку «екстра».

Після аналізу фізико-хімічних показників молока-сировини проводиться наступний технологічний етап — пастеризація молока. Температура пастеризації $75 \pm 2^\circ\text{C}$ з витримкою 30 секунд. На етапі охолодження ділимо молоко на два зразки: контрольний (молоко без додавання біологічно активного йоду) та дослідний (молоко з біологічно активною добавкою «Йодіс-концентрат»). Кількість внесеного йоду розрахована згідно з рекомендаціями ВООЗ.

Органолептичні показники контрольних і дослідних зразків питного молока після етапу охолодження не відрізняються (табл. 4).

Таблиця 4. Органолептичні показники контрольних і дослідних зразків питного молока після етапу охолодження ($M \pm m$, $n = 5$)

Показник	Характеристика
Консистенція	Однорідна рідина, без пластівців білка та осаду
Смак і запах	Чистий, притаманний свіжому молоку, без сторонніх присмаків і запахів, з легким присмаком пастеризації
Колір	Білий

Зважаючи на дані, наведені в табл. 4, можемо зробити висновок, що «Йодіс-концентрат» не впливає на органолептичні показники питного молока після пастеризації. Відсутність присмаку пояснюється тим, що біологічно активна добавка «Йодіс-концентрат» — це водний розчин з вмістом біологічно активного йоду без смаку та запаху.

Фізико-хімічні показники контрольних і дослідних зразків питного молока після етапу охолодження наведені у табл. 5.

Таблиця 5. Фізико-хімічні показники контрольних і дослідних зразків питного молока після етапу охолодження ($M \pm m$, $n = 5$)

Показник	Результат досліджень
Масова частка жиру (%)	2,5
Густина (кг/м^3)	1028
Температура ($^\circ\text{C}$)	4
Титрована кислотність ($^\circ\text{T}$)	17
Активна кислотність (pH)	6,67
Ефективність пастеризації	Фосфатаза — відсутня

Дані, наведені у табл. 5, підтверджують, що «Йодіс-концентрат» не впливає на фізико-хімічні показники питного молока після пастеризації. Це пояснюється тим, що «Йодіс-концентрат» є термостабільним.

Після етапу охолодження контрольні та дослідні зразки молока були поміщені в холодильник. Температура зберігання молока $4 \pm 2^\circ\text{C}$. Контрольні заміри температури проводилися двічі на день. Термін зберігання питного молока становить 10 днів. Фізико-хімічні й органолептичні дослідження проводилися щодня. Органолептичні показники контрольних і дослідних зразків молока не змінювалися протягом 10 днів зберігання молока (табл. 6).

Таблиця 6. Органолептичні показники контрольних зразків молока в процесі зберігання

Показник	Характеристика
Консистенція	Однорідна рідина, без пластівців білка та осаду
Смак і запах	Чистий, притаманний свіжому молоку, без сторонніх присмаків та запахів, з легким присмаком пастеризації
Колір	Білий

Як правило, в процесі зберігання молока змінюються такі фізико-хімічні показники, як титрована ($^{\circ}\text{T}$) та активна кислотність (pH). Вимірювання цих показників проводилося щодня. Вимірювання таких фізико-хімічних показників, як масова частка жиру (%), густина (кг/м^3), проводилися раз на два дні. Тенденція зміни титрованої кислотності в контрольних і дослідних зразках питного молока наведена в табл. 7.

Таблиця 7. Зміна титрованої кислотності контрольних і дослідних зразків питного молока в процесі зберігання ($M \pm m, n = 5$)

День зберігання	Титрована кислотність ($^{\circ}\text{T}$)	
	Контрольний	Дослідний
1	17	17
2	17	17
3	17	17
4	17	17
5	18	18
6	18	18
7	18	18
8	18	18
9	18	18
10	18	18

Згідно з даними, наведеними в табл. 7, можемо зробити висновок, що біологічно активна добавка «Йодіс-концентрат» не впливає на титровану кислотність питного молока в процесі зберігання. Отже, йод, який міститься в біологічно активній добавці «Йодіс-концентрат», не вступає у взаємодію зі складовими елементами молока, а є лише джерелом збагачення.

Процес зміни активної кислотності (pH) питного молока в контрольних і дослідних зразках питного молока наведено в табл. 8.

Таблиця 8. Зміна активної кислотності (pH) в контрольних і дослідних зразках питного молока в процесі зберігання ($M \pm m, n = 5$)

День зберігання	Активна кислотність ($^{\circ}\text{T}$)	
	Контрольний	Дослідний
1	6,67	6,67
2	6,67	6,67
3	6,67	6,67
4	6,67	6,67
5	6,68	6,68
6	6,68	6,68
7	6,68	6,68
8	6,68	6,68
9	6,68	6,68
10	6,68	6,68

З табл. 8 можемо зробити висновок, що йод, який міститься в біологічно активній добавці «Йодіс-концентрат», не вступає у взаємодію зі складовими елементами молока, а отже, не впливає на активну кислотність молока.

Біологічно активна добавка «Йодіс-концентрат» не впливає на інші фізико-хімічні показники молока в процесі зберігання, а саме: масова частка жиру, густина.

Висновки

Встановлено, що біологічно активна добавка «Йодіс-концентрат» не впливає на титровану кислотність ($^{\circ}\text{T}$) питного молока в процесі зберігання, яка залишається на рівні 18°T . Це пояснюється тим, що йод, який міститься в добавці, не взаємодіє зі складовими елементами молока, а є лише джерелом збагачення.

Активна кислотність (pH) питного молока в процесі зберігання залишається на рівні 6,68, оскільки йод, який міститься в біологічно активній добавці «Йодіс-концентрат», не вступає у взаємодію зі складовими елементами молока. Також біологічно активна добавка «Йодіс-концентрат» не впливає на масову частку жиру (%) та густину ($\text{кг}/\text{м}^3$) питного молока в процесі зберігання, тому що є лише засобом збагачення організму важливим мікроелементом — йодом.

Процес виготовлення молока з біологічно активною добавкою «Йодіс-концентрат» не потребує від виробника додатково обладнання, що, водночас, не вплине на собівартість продукту.

Література

Болгова, Н. В. (2019). Йодказеїн у виробництві плавлених сирів. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського*. Сер. «Технічні науки», 30(69), 5. Взято з: <http://repo.snau.edu.ua:8080/xmlui/handle/123456789/7567>.

Кравченко, В. І. (2006). Основні етапи дослідження йодної недостатності та динаміка її ліквідації в Україні. *Международный эндокринологический журнал*, 1(3). Взято з: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.

Маменко, М. Є. (2013). Йодний дефіцит та йододефіцитні захворювання. *Перинатология и педиатрия*, 1(53), 97—105.

Рижкова, Т., Лівощенко, І., Бондаренко, Т. (2011). Йодоване козине молоко — львівський нектар здоров'я. *Молоко і ферма*, 4, 38—39.

Стеценко, Н. О. (2019). Удосконалення способу виробництва кисломолочного напою, призначеного для усунення йододефіциту. *ЛОГОС. Мистецтво наукової думки*, 3, 108—110.

USE OF INNOVATIVE RAW MATERIALS (QUINOA, BLACK CUMIN, SESAME) AND THEIR IMPACT ON THE PROPERTIES OF WHEAT BREAD

Zh. Zamai, O. Gumeniuk, R. Volkova, O. Hrebtan, S. Tsybulia, G. Pasov
Chernihiv Polytechnic National University

Key words:

*Fortification
Quinoa
Cumin
Sesame
Wheat bread*

Article history:

Received 02.04.2021
Received in revised form
12.04.2021
Accepted 23.0.2021

Corresponding author:

Zh. Zamai
E-mail:
zamaizhanna@gmail.com

ABSTRACT

The article presents the results of research on the effect of the addition of quinoa, black cumin and sesame on the formation of organoleptic and physicochemical properties of yeast dough products, using bread made from high quality wheat flour. Today the problem of increasing the nutritional value of the most widely used products is popular and integral in the field of food technology development. Quinoa contains in average 16.5% protein, some strains even more than 20%, so the development of bread recipes with the addition of quinoa is at the epicenter of solutions to today's problems associated with healthy nutrition.

Experimental baking was carried out according to the calculated recipes with a dosage of 3, 5, 7% ground quinoa groats to the weight of flour, which was considered as a functional additive, the introduction of which would enrich the composition of finished products with proteins and expand the range of useful products. It was found that the finished products with the addition of quinoa had specific taste, to improve which additives of black cumin and sesame were tasted in the amount of 0.7% by weight of flour.

A choice of flavoring additive was made in favor of black cumin seeds, as it had a good sensory combination with quinoa seeds, which allowed to mask its natural taste and smell.

According to the results of the research, a rational dosage of quinoa in the amount of 7% by weight of flour was proposed. It was envisaged that further increase in the dosage of the additive will lead to a significant deterioration of the structural and mechanical properties of the finished bread products.

It was determined that the physicochemical parameters of the samples with additives did not have significant differences in the values of relative humidity, acidity, crumb condition from similar indicators of the control sample. The taste of the products with additives was high. Due to the content of essential substances (essential amino acids, minerals, dietary fiber) in the fortified samples of bread, the content of these substances was higher, and therefore the biological value of the developed products increased.

ВИКОРИСТАННЯ ІННОВАЦІЙНОЇ СИРОВИНИ (КІНОА, ЧОРНИЙ КМИН, КУНЖУТ) ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ВЛАСТИВОСТІ ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА

Ж. В. Замай, О. Л. Гуменюк, Р. М. Волкова, О. Б. Хребтань, С. Д. Цибуля,
Г. В. Пасов

Національний університет «Чернігівська політехніка»

У статті наведено результати дослідження впливу добавки кіноа, чорного кмину та кунжуту на формування органолептичних і фізико-хімічних властивостей виробів з дріжджового тіста на прикладі хліба з борошна пшеничного вищого татунку. На сьогодні проблема підвищення харчової цінності найбільш уживаних продуктів є популярною та невід'ємною в галузі розробок харчових технологій. Кіноа містить у середньому 16,5% білків, деякі сорти — понад 20%, тому розробка рецептури хліба з додаванням кіноа є важливою проблемою сьогодення, пов'язаною зі здоровим харчуванням.

Пробне випікання здійснено за розрахованими рецептурами з дозуванням 3, 5, 7% перемеленої крупи кіноа до маси борошна, що була розглянута як функціональна добавка, внесення якої дало б змогу максимально збагатити склад готових виробів білками та розширити асортимент корисних продуктів. Так, встановлено, що готові вироби з добавкою кіноа мають специфічний смак, для покращення якого перевірялись добавки чорного кмину і кунжуту в кількості 0,7% до маси борошна.

Зроблено вибір ароматизуючої добавки — насіння чорного кмину як гарного сенсорного поєднання з насінням кіноа, що дає змогу замаскувати його природний смак і запах.

За результатами проведених досліджень запропоновано раціональне дозування кіноа в кількості 7% до маси борошна. Передбачено, що подальше збільшення дозування добавки призведе до суттєвого погіршення структурно-механічних властивостей готових виробів хліба.

Визначено, що фізико-хімічні показники зразків з добавками не мають суттєвих відмінностей у значеннях відносної вологості, кислотності, стану м'якучки від аналогічних показників контрольного зразка. Смакові якості одержаних виробів з добавками високі. Завдяки вмісту у добавках, що використовувалися, есенціальних речовин (незамінних амінокислот, мінеральних речовин, харчових волокон), у фортифікованих зразках хліба вміст вказаних речовин є вищим, а отже, підвищеною є і біологічна цінність розроблених продуктів.

Ключові слова: фортифікація, кіноа, кмин, кунжут, пшеничний хліб.

Постановка проблеми. Розробка рецептури хліба з додаванням кіноа повністю збігається з тенденціями світового ринку хлібопекарської промисловості й турботою споживачів про власне здоров'я.

У сучасному харчуванні людина не отримує належної кількості необхідних корисних речовин, зокрема макро- та мікроелементів, незамінних амінокислот, вітамінів групи В, харчових волокон тощо. Це пов'язано із широким застосуванням високорафінованих харчових продуктів. На сьогодні проблема підвищення

харчової цінності найбільш уживаних продуктів є популярною та невід'ємною в галузі харчових технологій, тому розробка рецептури хліба з додаванням кіноа сприятиме здоровому харчуванню.

Розширення асортименту продукції за рахунок випуску нових різновидів, що будуть користуватися попитом у споживачів, — один із основних напрямків розвитку хлібопекарської промисловості. Актуальним в інноваційних технологіях галузі є використання рослинної сировини для створення хлібобулочних виробів з функціональними властивостями. Особлива увага прикута до використання як фортифікаційних компонентів пшеничного хліба насіння різних традиційних і нетрадиційних для України культур. Кіноа — це маловивчена добавка, яка у своєму складі містить більше білків, ніж будь-які злаки. При цьому її амінокислотний склад є дуже збалансованим і близьким до складу білків молока. Кмин і кунжут, окрім позитивного впливу на організм, надають хлібу приємного аромату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш ефективним способом підвищення біологічної цінності хлібобулочних виробів є використання рослинної сировини, що відрізняється високим вмістом мінеральних речовин, вітамінів, незамінних амінокислот і поліненасичених жирних кислот. Крім того, у рослинній сировині перераховані вище компоненти знаходяться у формі природних сполук, що добре засвоюються організмом (Khrebtan, Zamai & Gumeniuk, 2021).

Сьогодні для одержання хліба підвищеної біологічної цінності до борошна додають мікроелементи, вітаміни групи В, які добре витримують високі температури, аскорбінову кислоту, яка прискорює дозрівання тіста та покращує його хлібопекарські властивості. Окрім цього, розроблено безліч різновидів хліба з додаванням висівків, насіння (льону, гарбуза, кунжуту), круп, спецій, різноманітних видів борошна, порошоків (з кісточок винограду, калини, гранату тощо). Хоча асортимент хлібобулочних виробів є досить різноманітним, проте все більше з'являється нових видів виробів поліпшеної якості за рахунок додавання фортифікаційних компонентів.

Серед рослинної сировини, яку потенційно можна використовувати для підвищення біологічної цінності хлібобулочних виробів, увага дослідників прикута до білково-олійних культур і продуктів їхньої переробки — макухи та шротів (льону, коноплі, ріпаку, насіння гарбуза, сої, соняшнику, розторопші тощо), які є джерелом харчових волокон, вітамінів і мінеральних речовин (Гаркуша, 2016).

Раніше макухи та шроти більшості олійних культур використовувались в основному як високобілкові компоненти рослинних кормів. Використання їх у виробництві продуктів харчування пов'язане з можливістю надання новим продуктам функціональних властивостей за рахунок білків, харчових волокон і низки інших, не менш цінних у харчуванні людини компонентів (Жаркова, Малютіна & Ахтемиров, 2011).

Досліджено, що шроти олійних культур володіють покращеними антиоксидантними властивостями, але їх використання як добавок у хлібобулочних виробках призводить до погіршення органолептичних і фізико-хімічних показників якості готових виробів і напівфабрикатів, насамперед структурно-механічних властивостей тіста. Тому шроти рекомендується вносити разом з іншими добавками, що покращують реологічні властивості тіста (Дробот, Іжевська & Бондаренко, 2015).

Також у наукових публікаціях можна натрапити на інформацію про використання як фортифікаційних добавок таких псевдозернових культур, як кіноа, теф, чіа тощо, що відрізняються підвищеним вмістом білка і відсутністю глютену

(Atef, Abou-Zaid & Wafaa, 2014; Меркулов, Наливайко & Новопашин, 2015). Варто зазначити, що крупи з таких культур набувають усе більшої популярності серед прихильників здорового харчування.

Відомо, наприклад, що кіноа або кінва — це зернова культура, що походить з Анд та є різновидом лободи (Repo-Carrasco, Espinoza & Jacobsen, 2003). Смак кіноа нагадує нешліфований рис, з м'якими вершково-горіховими нотками. Кіноа містить у середньому 16,5% білків, деякі сорти — понад 20%. Якщо порівнювати з іншими крупами, то в рисовій знаходиться 7,5%, у пшеничній — 14%, у просяній — 9,9% (Lilian & Abugoch, 2009).

Амінокислотний склад кіноа дуже збалансований і наближений до білків молока. Містить у своєму складі лізин, який допомагає засвоюватися кальцію та сприяє загоєнню пошкоджених тканин. Білок кіноа легко засвоюється, тому ідеально підходить для спортсменів, вагітних жінок, дітей і вегетаріанців (Ruales & Nair, 1992).

У складі насіння кіноа найбільшу частку (відносно середньої добової норми для дорослої людини) мають: залізо (25%), калій (23%), магній (49%), фосфор (57%), цинк (26%). Також крупа багата на вітаміни B₁, B₂, B₃, B₄, B₆, B₉, E, бета-каротин (Repo-Carrasco-Valencia, Serna, 2011). У 100 г крупи міститься 2,8 г клітковини, що вказує на високий її вміст. Кіноа — крупа, що не містить глютену.

У (Бец, Наумова (2020) розроблено здобний виріб з використанням борошна цільозернового з крупи кіноа білої та визначено хімічний склад одержаного борошна і готових виробів у випадку заміни 13% пшеничного борошна на борошно з кіноа. Для покращення властивостей здобних виробів запропоновано використання хлібопекарського поліпшувача «Ірексол софт»

Зустрічаються в науковій літературі також відомості про використання як фортифікаційної добавки до деяких видів хліба насіння чорного кмину і кунжуту (Osman, Alamri & Abdel Rahman, 2012; Makinde, Akinoso, 2014).

Кунжут — це неочищене насіння рослини під назвою сезам. Назва пов'язана з тим, що він містить сезамін — сильний антиоксидант. Також насіння має яскраво виражені смак та аромат. Насіння кунжуту багате на K, P, Fe, Mg, Cu, Zn та вітаміни груп A, B, E, C, містить 49% жирів, 20% білків, 12% вуглеводів, 6% харчових волокон, а також є джерелом фітину (Lotha, 2021).

Чорний кмин — спеція з відчутним ароматом. Насіння містить до 23% білкових сполук, 22% жирних олій, 7% етерних масел, також вітаміни A, K, C, E, мікроелементи кальцій, калій, залізо, натрій, селен; спирти, дубильні речовини, етери, флавоноїди, кумарин та ін. (Petruzzello, 2021).

Метою дослідження є теоретичне та експериментальне обґрунтування використання кіноа в технології виробництва хлібобулочних виробів підвищеної харчової цінності.

Матеріали і методи. Використовували: борошно пшеничне вищого сорту вологістю 14,5%; крупу кіноа вологістю 9,9%; насіння чорного кмину вологістю 12%; насіння кунжуту вологістю 9%.

Дослідження якості контрольних і дослідних зразків напівфабрикатів і готових виробів проводили за такими показниками, як вологість, кислотність, пористість згідно з ДСТУ 7045:2009 «Вироби хлібобулочні. Методи визначання фізико-хімічних показників». Визначення впливу фортифікаційних добавок на підйомну силу тіста визначали за питомим об'ємом тіста. Органолептично визначали форму хліба, колір і зовнішній вигляд, стан скоринки, смак і запах за методикою

згідно з ДСТУ-П 8536:2015 «Вироби хлібобулочні. Органолептичне оцінювання показників якості».

Для досліджень були підготовлені зразки, виготовлені з борошна пшеничного вищого сорту, дріжджів, солі, цукру та добавкою борошна кіноа, чорного кмину і кунжуту. Як контрольний зразок використовували хліб пшеничний з борошна вищого сорту.

Викладення основних результатів дослідження. Як добавку використовували перемелену на лабораторному млині ЛЗМК-1 крупу кіноа білої виробника «PeruvianONE Superfoods». Попередньо визначили гранулометричний склад одержаного борошна кіноа і встановили, що середній розмір його частинок становить 0,25 мм, що не потребує додаткового подрібнення під час використання його в технологічному процесі.

Досліджувані кількості перемеленої крупи кіноа складали відповідно — 3%, 5% та 7% до маси борошна.

Для визначення раціонального дозування кіноа проводились пробні лабораторні випікання. Тісто готували безопарним способом за рецептурою хліба пшеничного. Замість здійснювали на тістомісильній машині First FA-5259. Тривалість замісу 10 хвилин. Для випікання хліба було сформовано заготовки по 0,85...0,870 кг, які вистоялись 40 хв у вистійній шафі за температури 35...40°C. Випікання проводилось за температури 220°C, тривалість випікання контрольного зразка 30 хв, а фортифікованих — 33...35 хвилин.

У результаті пробного лабораторного випікання було встановлено, що готові вироби з добавкою кіноа мають неяскарий трав'янисто-горіховий присмак, для покращення якого вирішили використати добавку чорного кмину і кунжуту в кількості 0,7% до маси борошна. Дозування цих добавок обрали, орієнтуючись на літературні дані (рецептури хліба з пшеничного борошна з добавкою кмину) (Дробот, 2019).

Вибір чорного кмину ґрунтувався на тому, що порівняно з білим він має більш виражені органолептичні властивості.

Таким чином було сформовано чотири зразки з відповідним дозуванням:

- 1 — 3% кіноа та 0,7% чорного кмину;
- 2 — 3% кіноа та 0,7% кунжуту;
- 3 — 5% кіноа та 0,7% чорного кмину;
- 4 — 7% кіноа та 0,7% чорного кмину.

За результатами органолептичного аналізу готових виробів з добавкою перемеленої крупи кіноа та насіння чорного кмину — в одному зразку і насіння кунжуту — в іншому, перевагу було надано чорному кмину.

За результатами визначення вологості готових виробів і напівфабрикатів встановили, що зі збільшенням вмісту добавки кіноа (3...7%) вологість тіста дещо зменшується порівняно з контрольним зразком на 3,0...4,8% відповідно; вологість готових виробів зменшується, відповідно, на 3,1...3,8% (табл. 1). Це може бути пов'язане з вищою, ніж у пшеничного борошна ($57 \pm 1,5\%$), водопоглинальною здатністю борошна кіноа ($148 \pm 2,5\%$). Варто зазначити, що для розрахунку рецептур використовували значення вологості тіста 43,5%, водопоглинальну здатність борошна кіноа не враховували. Одержані результати вологості тіста відрізнялись від прийнятих для розрахунків, відповідно, на 0,9...3,9%.

Порівнюючи значення кислотності тіста та м'якушки готових виробів (табл. 1), можна зробити висновок, що добавки кіноа, чорного кмину та кунжуту практично не впливають на неї.

Питомий об'єм тіста зі збільшенням дозування кіноа зменшується, відповідно, на 0,3...0,8 см³/г, що корелює зі зниженням пористості м'якушки готових виробів, відповідно, на 2,1...7,7%. Тобто добавки кіноа, чорного кмину і кунжуту погіршують структуру клейковинного каркасу через підвищений вміст харчових волокон.

Таблиця 1. Показники якості напівфабрикатів і готових виробів

Показники	Фізико-хімічні показники				
	Контроль	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4
Вологість тіста, %	44,4	41,4	41,3	40,1	39,6
Кислотність тіста кінцева, град	3,6	3,5	3,5	3,5	3,4
Питомий об'єм тіста, см³/г	2,8	2,5	2,5	2,2	2,0
Вологість м'якушки, %	44,0	40,9	40,7	40,7	40,2
Кислотність м'якушки, град	3,2	3,2	3,1	3,1	3,0
Пористість м'якушки, %	76,5	74,4	73,6	70,6	68,8
	Органолептичні показники				
Правильність форми	Відповідає формі, в якій проводили випікання, з дещо випуклою верхньою скоринкою				
Колір скоринки	Світло-жовта	Світло-коричнева, з вкрапленням кмину	Світло-коричнева, з вкрапленнями кунжуту	Світло-коричнева, з вкрапленням кмину	
Стан поверхні скоринки	Гладенька, без великих підривів і тріщини				
Колір м'якушки	Світлий	Світло-сірий з вкрапленнями кмину	Світло-сірий з вкрапленнями кунжуту	Сірий з вкрапленнями кмину	
Стан м'якушки	Пропечена, еластична, не волога на дотик, з розвинутою пористістю, без слідів непромісу й ущільнення				
Смак	Властивий виробу	Присмак кіноа майже не відчутний, з присмаком кмину	Присмак кіноа майже не відчутний, легкий присмак кунжуту	Присмак кіноа та кмину	
Запах	Без стороннього запаху	З легким запахом кмину	Ледь відчутний запах кунжуту	З легким запахом кмину	

Органолептичні дослідження готових виробів засвідчили, що сенсорне поєднання використаної сировини дало змогу отримати нові розробки хліба з

високими споживчими характеристиками (табл. 1). Використання навіть максимального дозування кіноа (7%) не погіршило колір і смакові властивості готових виробів.

Форма випечених зразків була правильною; поверхня — рівномірною; колір м'якушки — від світло-жовтого у контрольного зразка до сірого — у зразка 4 (7% кіноа і 0,7% чорного тмину), колір поверхні виробів — світло-коричневий; стан м'якушки — пропечений, не вологий на дотик, еластичний, без слідів непромісу; пористість — розвинена, тонкостінна, без пустот і ущільнень.

Харчова цінність збагаченого хліба (табл. 2) була розрахована на основі відомостей про хімічний склад основної сировини (Бец & Наумова, 2020). В розрахунках прийнято вихід хліба 132,52%, вміст харчової солі 1,5%, вміст дріжджів 2%, вміст борошна з крупи кіноа 7%.

Таблиця 2. Харчова цінність 100 г хлібних виробів

Найменування продукту	Білки, г	Ліпиди, г	Вуглеводи, г	Мінеральні речовини, мг						Вітаміни, мг		
				Na	K	Ca	Mg	P	Fe	B ₁	B ₂	PP
Хліб пшеничний	8,15	2,84	54,74	416,78	100,63	19,73	21,30	79,73	1,12	0,137	0,07	1,07
Хліб, збагачений кіноа	8,28	1,01	59,13	416,78	100,63	44,28	118,15	307,15	1,23	0,156	0,09	1,08

Розрахунок харчової цінності збагаченого хліба показав суттєве зростання вмісту магнію (у 5,5 раза), фосфору (у 3,85 раза) та кальцію (у 2,25 раза). Вміст решти елементів змінюється несуттєво. Показано, що для суттєвого збільшення вмісту білка у фортифікованому хлібі добавки кіноа в кількості 7% до маси борошна недостатньо. Порівняно з пшеничним борошном борошно кіноа містить 5,93 г лізину на 100 г білка, а борошно пшениці — 2,1 г та суттєво вищий вміст метіоніну — 2,8 г порівняно з 1,35 г / 100 г протеїну в пшеничному борошні (Atef A., Abou-Zaid, & H. Emam, 2014). Тобто навіть за незначного зростання загального вмісту білка склад хліба суттєво збагачується есенціальними амінокислотами: метіоніном і лізином.

Отже, у результаті проведених досліджень визначили, що фізико-хімічні показники зразків з добавками не мають суттєвих відмінностей у значеннях відносної вологості, кислотності, стану м'якушки від цих значень для контрольного зразка. Смакові якості зразків готових виробів з добавками мають свій характерний приємний смак. Завдяки вмісту у добавках, що використовувалися, есенціальних речовин, вміст незамінних амінокислот, мінеральних речовин, харчових волокон у фортифікованих зразках хліба є вищим, а отже, підвищеною є і біологічна цінність розроблених продуктів.

Висновки

У результаті проведених досліджень підтверджено доцільність використання добавки кіноа для фортифікації хлібобулочних виробів з борошна вищого сорту.

Запропоновано раціональне дозування кіноа в кількості 7% до маси пшеничного борошна. Передбачено, що подальше збільшення дозування добавки призведе до суттєвого погіршення структурно-механічних властивостей готових виробів хліба.

Зроблено вибір ароматизуючої добавки — насіння чорного кмину як вдалого сенсорного поєднання з насінням кіноа, що дає змогу замаскувати його природний смак і запах.

Одержані дані слугуватимуть для розробки рецептур хлібобулочних виробів, фортифікованих насінням кіноа.

Література

Бец, Ю. А., Наумова, Н. Л. (2020). Разработка сдобного изделия с применением цельно-зерновой муки киноа белой. *Вестник КамчатГТУ*, 51, 35—39.

Бондаренко, Ю. В., Андронович, Г. М., Грищенко, А. М., Анич, А. М. (2020). Застосування операції гідратації насіння льону у виробництві пшеничного хліба. *Наукові праці НУХТ*, 26(2), 232—243.

Бондаренко, Ю. В., Білик, О. А., Кочубей-Литвиненко, О. В., Андронович, Г. М. (2020). Насіння льону як рецептурний компонент хлібобулочних виробів. *Наукові праці НУХТ*, 26(4), 178—189.

Гаркуша, С. Л. (2016). *Наукове обґрунтування заходів профілактики ускладнень метаболічного синдрому шляхом використання у раціоні харчування шротів* (Дис. канд. мед. наук). ДУ «Ін-т громад. здоров'я ім. О. М. Марзєєва НАМН України», Київ.

Дробот В. І. (2019) *Довідник з технології хлібопекарського виробництва: 2-ге вид., перероб. і доп.* Київ: ПрофКнига.

Дробот, В. І., Іжевська, О. П., Бондаренко, Ю. В. (2015). Дослідження структурно-механічних властивостей тіста зі шротом льону. *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*, 10(131), 29—33.

Жаркова, И., Малютина, Т., Ахтемиров, Е. (2011). Нетрадиционное растительное сырье в технологии кексов (Обезжиренная мука из семян тыквы, арбуза, шиповника, льна, винограда и плодов расторопши). *Хлебопродукты*, 8, 40—41.

Лебеденко, Т. Є., Кожевнікова, В. О., Новічкова, Т. П. (2014). Перспективи удосконалення прискорених технологій хліба шляхом використання шипшини та глоду. *Технический аудит и резервы производства*, 3/5(17), 8—11.

Меркулов, Н. Ю., Наливайко, Д. С., Новопашин, С. Н. (2015) Разработка рецептуры и исследование состава изделий с использованием семян киноа. *Хлебопродукты*, 8, 46—47.

Самохвалова, О. В. (Ред.). (2015). *Інноваційні технології хлібобулочних і кондитерських виробів*: колект. монографія. Харків: ХДУХТ.

Atef, A., Abou-Zaid, El-Faham, S.Y., Wafaa, H., Emam (2014) Use of Quinoa Meal to Produce Bakery Products to Celiac and Autism Stuffs, *International Journal of Science and Research*, 3(9), 1344—1354.

Gutte, K. B., Sahoo, A. K., Ranveer, R. C. (2015) Bioactive Components of Flaxseed and its Health Benefits. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 31(1), 42—51.

Khrebtan, O., Zamai, Zh., Gumeniuk, O. (2021). Ensuring the quality of innovative products in the dairy and bakery industry. Innovative approaches to ensuring the quality of education, scientific research and technological processes: monograph / Katowice : Publishing House of University of Technology, 1046—1056.

Lilian, E. Abugoch, J. (2009) Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties. *Food and Nutrition Research*, 58, 1—31.

Lotha, G. (2021) “Sesame”. *Encyclopedia Britannica*, Invalid Date, Взято з: <https://www.britannica.com/plant/sesame-plant>. Accessed 19 May 2021.

Makinde, F. M., Akinoso, R., (2014) Physical, nutritional and sensory qualities of bread samples made with wheat and black sesame (Sesamum indicum Linn) flours, *International Food Research Journal*, 21(4), 1635—1640.

Osman, M., Alamri, M. S., Mohamed, M. S., Abdel Rahman, I. E., (2012) Black cumin-fortified flat bread: Formulation, processing, and quality, *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, January, 1(1), 1—6.

Repo-Carrasco-Valencia, R., Serna, L. A. (2011) Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 19(1), 225—230.

Repo-Carrasco, R., Espinoza, C. and Jacobsen, S. E. (2003) Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*, 19, (1 & 2), 179—189.

Petruzzello, Melissa. “Black cumin”. *Encyclopedia Britannica*, Invalid Date. Взято з: <https://www.britannica.com/plant/black-cumin>. Accessed 19 May 2021.

Ruales, J., Nair, B. (1992). Nutritional quality of the protein in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 42, 1—11.

THE RESEARCH OF THE TECHNOLOGY OF BEET-APPLE SAUCE WITH REDUCED CALORIES

S. Matko, L. Melnyk

National University of Food Technologies

Key words:

*Sauce
Beetroot
Stevia leaf extract
Pre-treatment
Organoleptic parameters*

Article history:

Received 19.04.2021
Received in revised form
30.04.2021
Accepted 13.05.2021

Corresponding author:

S. Matko
E-mail:
plqaz@ukr.net

ABSTRACT

Global nutrition trends are associated with the creation of functional products range which promote good health and reduce the risk of eating disorders. The use of functional ingredients which have positive effect on the physiological functions of the human body is increasingly applied for new products technologies development.

Table beet was the basic raw material for the new technology, which is one of the most common roots, a valuable food product and contains a significant amount of organic and mineral substances, vitamins, which play an important role in the human body metabolism. For selecting the beets variety it its nitrate content should be taken into account.

Different methods of beet pretreatment were studied: blanching with water, steam, freezing, microwave action of different power (at a frequency of 2435 MHz).

It was paid attention to the problem of natural color preserving during beet processing due to extremely sensitive compounds — anthocyanin pigments, which are unstable to high temperatures (above 65°C), enzymes, oxygen, daylight, heavy metals, pH.

The technology of beet-apple sauce was developed. It was based on the principle of traditional (classical) technologies modification, which allowed to obtain in the finished product with the content of useful ingredients to the physiological norms of their consumption (10...50% of the average daily requirement), or to reduce the excess sugar content. Rational technological parameters of beet-apple sauce production were selected. Its caloric content was reduced due to stevia using and the glycemic index of the finished product was calculated. The quality of the new sauce was sensory evaluated, the general organoleptic index was determined. The use of apple puree in the developed technology gave the flavor to sauce, increased its taste.

The improved technology of beet-apple sauce can be implemented in canneries and restaurants.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БУРЯКОВО-ЯБЛУЧНОГО СОУСУ ЗІ ЗНИЖЕНОЮ КАЛОРІЙНІСТЮ

С. В. Матко, Л. М. Мельник

Національний університет харчових технологій

Світові тенденції в галузі харчування пов'язані зі створенням асортименту функціональних продуктів, які сприяють зміцненню здоров'я населення та зменшують ризик виникнення захворювань, пов'язаних із харчуванням. Використання новітніх функціональних інгредієнтів, що позитивно впливають на фізіологічні функції організму людини, знаходить все більше застосування при розробленні технологій нових продуктів.

Базовою сировиною для розроблення технології обрано буряк столовий, що є одним із найпоширеніших коренеплодів і цінним харчовим продуктом та містить значну кількість органічних і мінеральних речовин, вітамінів, які відіграють важливу роль в обміні речовин організму людини. При підборі сорту буряка слід врахувати вміст нітратів у ньому. При наднормованій кількості буряк повинен пройти додаткове оброблення.

Досліджено різні способи попереднього оброблення буряка: бланшування водою, парою, заморожування, дію НВЧ різної потужності (при частоті 2435 МГц). Приділено увагу проблемі збереження природного кольору при переробці буряка за рахунок вкрай чутливих сполук — антоціанових пігментів, які є нестабільними до високої температури (вище 65°C), ферментів, кисню повітря, денного світла, важких металів, рН середовища.

Розроблено технологію буряково-яблучного соусу, в основу покладено принцип модифікації традиційних (класичних) технологій, що дає змогу отримати в готовому продукті вміст корисних інгредієнтів до фізіологічних норм їхнього споживання (10...50% від середньої добової потреби) чи знизити надлишковий вміст цукрів. Підібрано раціональні технологічні параметри виробництва буряково-яблучного соусу. Знижено його калорійність за рахунок використання стевії та розраховано показник глікемічності готового продукту. Сенсорно оцінено якість розробленого соусу, визначено загальний органолептичний показник. Використання яблучного пюре в розробленій технології надає соусу аромату, підвищує його смакові властивості.

Розроблена технологія буряково-яблучного соусу може бути впроваджена на консервних заводах і в закладах ресторанного господарства.

Ключові слова: соус, буряк столовий, екстракт листя стевії, попередня підготовка, органолептичні показники.

Постановка проблеми. Згідно зі статистикою ВООЗ, майже половина населення Землі має надлишкову вагу. Все частіше люди почали звертати увагу на те, що саме вони їдять, і змінювати свій раціон, щоб почуватися краще та бути здоровішими.

Для поліпшення смаку і засвоюваності продуктів, а також як добавку до основної страви або гарніру широко використовують соуси, більшість яких містять спеції та смакові інгредієнти, що підвищують апетит (Кузьміна, 1994).

Використання соусів на основі плодо-овочевої сировини дасть змогу суттєво збагатити раціон людини біологічно-активними речовинами (БАР), харчовими волокнами, пектиновими речовинами, органічними кислотами, вітамінами, кальцієм, магнієм, залізом, калієм, фосфором.

Розроблення технологій харчових продуктів зі зниженою енергетичною цінністю, що позитивно впливають на одну або декілька фізіологічних функцій організму людини і мають підвищений вміст біологічно активних речовин та володіють високими органолептичними показниками, є перспективним напрямом у харчовій промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасний ринок соусів — дуже різноманітний і гнучкий, середня рентабельність виробництва становить 5...8%. Зацікавленість виробників соусною продукцією обумовлена можливістю комбінування сировини і додаткових компонентів для розширення асортиментів соусів, регулювання собівартості, ціни та рентабельності виробництва.

Аналізуючи дані (Жукевич & Рудавська, 2009) про ставлення споживачів до нових, раніше невідомих їм продуктів харчування залежно від їхнього віку, необхідно відмітити, що більшість опитаних (63%) охоче купують нові продукти харчування, особливо люди молодшого віку.

Соуси характеризуються високими поживними властивостями, засвоюваністю, можливістю регулювати хімічний склад, харчову та біологічну цінність, калорійність, тому соусна продукція в харчуванні є джерелом вуглеводів і жирів, дещо менше — білків, мінералів і вітамінів (Дзюндзя, 2013; Тележенко & Жмудь, 2009).

Український ринок соусів активно розвивається з 2013 року. Більше 90% українського ринку соусів займають вітчизняні виробники, які для підвищення продажів намагаються розширити свій асортимент (Тележенко & Жмудь, 2009). У результаті аналізу товарів-конкурентів, вивчення попиту споживачів на кислосолодкі соуси встановлено, що на споживчому ринку плодкових соусів — 46%, ягідних — 39% та 15% овочевих (Дзюндзя, 2013). При цьому необхідно зазначити, що овочеві соуси, які виготовляють у ресторанному господарстві, та закордонні соуси, що є на ринку, представлені у вкрай обмеженому асортименті. Тому розроблення нових технологій соусів з буряка для розширення асортименту продуктів харчування та підвищення їх харчової цінності є доцільним.

А. В. Антоненко розглянув особливості використання дієтичних добавок у технологіях соусів із використанням полідекстрози, гуміарабіка, добавки білково-жирової (ДБЖ) із сої, а також дослідив хімічний склад і представив результати порівняльного оцінювання якості та безпечності нових і традиційних соусів (Антоненко, 2009).

Проблемі використання БАР у виробництві харчових продуктів присвячено праці М. І. Пересічного, М. Ф. Кравченка, П. О. Карпенка, А. Б. Горальчука, П. П. Пивоварова, В. Н. Корзуна, О. М. Григоренка та ін. Розширення асортименту, зниження калорійності, подовження терміну зберігання можливо за умови

цілеспрямованого застосування харчових добавок, частина з яких виконує не лише технологічні функції, а й має певну біологічну цінність (Тележенко, 2004; Кузьмина, 1994; Clifford, Howatson, West & Stevenson, 2015).

Незважаючи на досягнуті успіхи, при виробництві плодово-овочевих соусів недостатньо використовувати традиційну сировину. За даними Мінагрополітики, серед овочевих коренеплідних культур, що вирощують в Україні, буряк столовий є одним із найпоширеніших (Мінагрополітики: виробництво овочів), він має відносно невисоку вартість, а його хімічний склад характеризується високим вмістом природних цукрів. Завдяки великій кількості неперетравлюваної клітковини, що проходить по всьому травному тракту, відбувається активна стимуляція моторної функції кишечника, поліпшується обмін речовин і травлення (Clifford, Howatson, West & Stevenson, 2015).

З огляду на сучасні вимоги науки про харчування розширюється виробництво функціональних низькокалорійних продуктів у різних галузях харчової промисловості з використанням цукрозамінників, призначених для людей, хворих на цукровий діабет, ожиріння, серцево-судинні порушення.

На сьогодні різко підвищилась зацікавленість до використання в харчовій промисловості стевії як природного підсолоджувача. Хімічна речовина, яка обумовлює солодкість стевії, — стевіозид, що складається з трьох молекул глюкози й аглюкону стевіолу (Адамчук, 2012; Samuel та ін., 2018).

Інформація щодо токсикологічних досліджень стевіозиду неодноразово розглядалась Об'єднаним комітетом експертів із ФАО/ВООЗ з харчових добавок (JECFA). Численні токсикологічні дослідження глікозидів стевії були проведені незалежними лабораторіями в різних країнах (Samuel та ін., 2018).

Стевіозид стевії — стійкий до термообробки і до низьких значень рН, легко розчиняється у холодній та гарячій воді, без появи кольору, не розкладається при довготривалому зберіганні на світлі, не дає осаду. Перераховані характеристики — дуже важливі при використанні його у харчових системах, таких як плодово-овочеві соуси, і в технологічних процесах з високотемпературною обробкою (пастеризацією), тому цей підсолоджувач може широко застосовуватися при розробленні нових рецептур (Адамчук, 2012; Samuel та ін., 2018).

Метою статті є розроблення та науково-практичне обґрунтування технології овочевих соусів зі зниженою калорійністю з використанням коренеплідів червоного буряка.

Матеріали і методи. Для обґрунтування та розроблення технології овочевого соусу основною сировиною обрано буряк столовий, який містить значну кількість цукрів, органічних і мінеральних речовин та вітамінів, що відіграють важливу роль в обміні речовин організму людини (Тележенко, 2004).

Загальний вміст сухих речовин у коренеплодах коливається від 13 до 20%. Буряк столовий відрізняється своєрідним складом азотистих речовин, які представлені бетаїном (0,6—2,3%) і холіном. Містить поліфеноли (90—105 мг/100 г), пектинові (до 2,5%) і барвні речовини, які представлені антоціанами (250—400 мг/100 г).

Середній хімічний склад буряка наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Хімічний склад столового буряка

Сировина	Хімічний склад, %		Вуглеводи	Харчові волокна	Органічні кислоти	Зола	Енергетична цінність, ккал
	Вода	Білки					
Буряк	86	1,5	8,8	2,5	0,06	1,0	42

Додатковими компонентами є яблучне пюре, що виготовлялося з попередньо відібраної, митої сировини та екстракт листя стевії від компанії Pure Circle — світового лідера з виробництва стевіол глікозидів.

Органолептичні показники соусу визначали методом сенсорного аналізу за 5-бальною шкалою за методикою Делфі. В оцінюванні органолептичних показників брали участь 5 експертів. У соусі визначали такі органолептичні показники: смак (P_1), аромат (P_2), колір (P_3), консистенцію (P_4), зовнішній вигляд (P_5).

Для визначення комплексного показника якості (K_0) визначали коефіцієнти вагомості (M_i) (табл. 2) кожного показника з урахуванням основних принципів кваліметрії.

Визначення показника глікемічності (ПГ) в нових розроблених консервованих продуктах здійснювалося за методикою В. В. Дорохович, А. М. Дорохович, яка передбачає визначення кількості вуглеводного компонента x_i , (цукрози, глюкози, фруктози) в 100 г готового продукту та визначення одиниць глікемічності кожного вуглеводного інгредієнта, як добутку ПІ кожного вуглеводу (табл. 3) на його кількість у 100 г продукту — $a_i x_i$, та подальшого складання добутку по кожному вуглеводу (Спосіб визначення показника глікемічності харчового продукту: пат. 40623 Україна).

Таблиця 2. Розрахунок коефіцієнтів вагомості органолептичних характеристик

Номер експерта	Коефіцієнти вагомості M_i показників властивостей					
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	M_i
1	0,10	0,10	0,35	0,20	0,25	1
2	0,10	0,05	0,35	0,25	0,25	1
3	0,10	0,15	0,35	0,25	0,15	1
4	0,15	0,10	0,25	0,3	0,20	1
5	0,15	0,10	0,30	0,3	0,15	1
Середнє значення	0,14	0,11	0,32	0,26	0,2	1

Показник глікемічності ПГ, од, розраховують за формулою:

$$\text{ПГ} = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + \dots + a_n x_n, \quad (1)$$

де a_1, a_2, a_3, a_n — глікемічний індекс (далі ГІ) вуглеводів; x_1, x_2, x_3, x_n — кількість відповідних вуглеводів у 100 г готового продукту.

Визначення ПГ таким способом дає змогу оцінити вплив кожного сировинного інгредієнта й обчислити оптимальний рецептурний склад, що дає об'єктивну оцінку глікемічності продукту.

Таблиця 3. Глікемічний індекс вуглеводів

Вуглевод	ГІ, %	Вуглевод	ГІ, %
Крохмаль	70	Глюкоза	100
Харчові волокна	10	Мальтоза	105
Сахароза	60	Фруктоза	20
Пектин	30	Еритритол	0,1
Мальтитол	30	Лактоза	30

Для розроблення технології буряково-яблучного соусу було досліджено способи попереднього оброблення сировини (бланшування водою, парою, заморожування, дію НВЧ різної потужності (при частоті 2435 МГц), що дасть змогу збільшити вихід пюре буряка і зберегти його поживні речовини та вітаміни.

Викладення основних результатів дослідження. Результати дослідження впливу способів попереднього оброблення буряка столового на вихід пюре наведені в табл. 4.

Таблиця 4. Вихід пюре буряка залежно від способу його попереднього оброблення

Буряк	$m_{\text{після обробки}}, \text{Г}$	$m_{\text{пюре}}, \text{Г}$	Вихід пюре, %
Свіжий	100	74,97	75
Заморожений	96,8	80,53	85,5
Бланшований паром ($\tau = 5 \text{хв}$)	93,2	74,58	76,3
Бланшований водою ($\tau = 10 \text{хв}$)	89,7	5,61	73,0
НВЧ ($\theta = 2435 \text{ МГц}$, $W = 800 \text{ Вт}$, $\tau = 1 \text{хв}$)	92,37	71,51	77,0
НВЧ ($\theta = 2435 \text{ МГц}$, $W = 500 \text{ Вт}$, $\tau = 1 \text{хв}$)	94,2	73,16	78,5
НВЧ ($\theta = 2435 \text{ МГц}$, $W = 350 \text{ Вт}$, $\tau = 1 \text{хв}$)	97,3	94,3	89,5

Найбільший вихід пюре (89,5%) з буряка досягається при обробленні НВЧ-випромінюванням при потужності $W = 350 \text{ Вт}$. Перевагами цього способу є ще й те, що невисока температура обробки дає змогу зберегти всі бажані БАР сировини. Заморожування та бланшування паром дає змогу отримати вихід пюре із буряка на рівні 85,5 та 76,3%, відповідно. Попереднє заморожування сировини збільшує вихід пюре на 10%, але, порівнюючи з обробкою паром чи водою, супроводжується втратами при дефростації. Бланшування водою призводить до зниження кількості корисних речовин (за рахунок екстрагування) та виходу бурякового пюре.

Основною проблемою при переробленні буряка залишається збереження природного кольору після термічного оброблення. Це обумовлено тим, що антоціанові пігменти столового буряка — вкрай чутливі сполуки. Вони руйнуються під дією різноманітних факторів: високої температури (вище 65°C), ферментів, кисню повітря, денного світла, важких металів, рН середовища. При жорсткому температурному обробленні та взаємодії з повітрям бетанін буряка окислюється, змінюючи колір з бордового на жовто-коричневий. При додаванні кислоти реакція йде в зворотному напрямку, колір змінюється із жовто-коричневого на червоно-бордовий.

Отже, параметрами оброблення в експерименті були: активна кислотність лимонної кислоти, розмір граней кубиків сировини та тривалість теплової обробки. Як об'єкт дослідження був обраний буряк сорту Багряний. Він має найвищий вміст пігментів — $608 \cdot 10^{-3}\%$, і, на жаль, найвищий вміст нітратів — 2700 мг/кг (при ПДК — 1400 мг/кг). Для використання цього сорту на харчові цілі він повинен пройти додаткове оброблення, яке надасть можливість знизити вміст контамінантів і зберегти пігментні речовини. Параметрами оптимізації обрані кольоро-параметричні характеристики.

Результати досліджень представлені в табл. 5.

Таблиця 5. Вплив параметрів оброблення столового буряка на його кольоропараметричні характеристики

Зразки	Параметри оброблення			Кольоропараметричні характеристики			Візуальна оцінка кольору
	Час τ , хв	pH	Розмір граней, мм	Домін. довжина хвилі, $\lambda_{\text{дм}}$	Чистота кольору, P , %	Яскравість T , %	
Буряк сирий	—	—	—	611	14	18,7	Темно-червоний насичений з фіолетовим відтінком
Буряк столовий оброблений	20	4,4	15	623	32	11,8	Темно-червоний з коричневим відтінком
	20	4,0	15	648	28	12,3	Темно-червоний
	20	3,6	15	635	31	13,1	Темно-червоний насичений
	20	3,2	15	690	23	20,0	Темно-червоний насичений
	20	2,8	15	698	23	23,4	Темно-червоний
	20	3,6	15	647	27	13,2	Темно-червоний
	20	3,6	15	635	31	13,1	Темно-червоний насичений
	20	3,6	15	629	35	14,6	Темно-червоний насичений
	20	3,6	15	632	36	18,2	Темно-червоний насичений
	20	3,6	15	613	34	21,0	Темно-червоний насичений
	20	3,6	5	700	26	12,5	Темно-червоний з коричневим відтінком
	20	3,6	10	672	27	13,0	Темно-червоний
	20	3,6	15	635	31	13,1	Темно-червоний насичений
	20	3,6	20	698	29	15,1	Темно-червоний насичений
	20	3,6	25	641	27	15,6	Темно-червоний
	10	3,6	15	636	22	14,2	Темно-червоний
	15	3,6	15	652	28	13,4	Темно-червоний насичений
	20	3,6	15	635	31	13,1	Темно-червоний насичений
	25	3,6	15	600	20	11,5	Темно-червоний з коричневим відтінком

Досліджували поєднання рецептури бурякового та яблучного пюре для отримання продукту з оптимальними органолептичними показниками.

Рецептури соусів з буряка наведені у табл. 6.

Таблиця 6. Рецептури соусів при різному співвідношенні бурякового та яблучного пюре

Сировина	I	II	III	IV	V
Бурякове пюре, кг	460,0	225,0	625,0	380,0	525,0
Яблучне пюре, кг	460,0	680,0	310,0	525,0	395,0
Цукор, кг	60,0	90,0	50,0	60,0	45,0
Екстракт стевії (1% розчин), кг	10,0	—	10,	20,0	20,0
Спеції, кг	10,	5,0	5,0	15,0	15,0

У результаті експериментальних досліджень розроблено 5 зразків соусів і проведена їх органолептична оцінка, яка представлена в табл. 7. Визначено вміст сухих речовин (СР) (рис.).

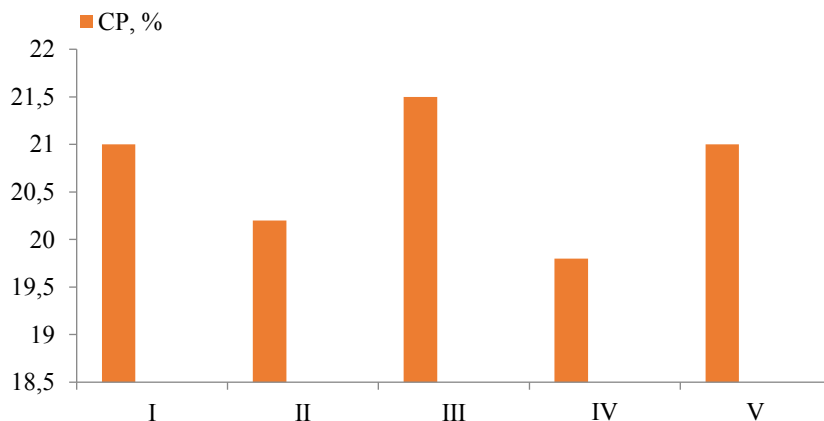


Рис. Вміст СР у буряково-яблучних соусах

За результатами органолептичної оцінки визначено, що кращий зразок соусу у співвідношенні 1,33:1,0 бурякового і яблучного пюре отримав максимальну оцінку за смаком, зовнішнім виглядом і кольором, ароматом та консистенцією (табл. 8).

Отже, комплексний показник якості буряково-яблучного соусу становить:

$$K_0 = 0,14 \frac{5}{5} + 0,11 \frac{4}{5} + 0,32 \frac{5}{5} + 0,26 \frac{5}{5} + 0,2 \frac{4}{5} = 0,96.$$

Результати досліджень органолептичної оцінки соусу буряково-яблучного свідчать про його високі смакові властивості. Комплексний показник якості органолептичних характеристик знаходиться в межах 0,90—1,00 од, що відповідає оцінці «відмінно».

Таблиця 7. Органолептичні показники буряково-яблучних соусів

Соус (зразок)	Показники			
	Зовнішній вигляд	Колір	Консистенція	Запах і смак
1	2	3	4	5
I	Однорідна пюреподібна маса без включень	Однорідний червоний, насичений за всією масою	Середньої густини, текуча, характеризується наявністю легкого відчуття тіла	Виражений кисло-солодкий смак, без стороннього присмаку та запаху
II	Однорідна пюреподібна маса без включень	Однорідний, світло-рожевий, рівномірний, інтенсивний	Текуча консистенція, не досить густий	Виражений кислий, без стороннього присмаку та запаху, але переважає смак яблук
III	Однорідна пюреподібна маса без включень	Однорідний, червоний, інтенсивний, властивий кольору буряка	Середньої густини, текуча, характеризується наявністю легкого відчуття тіла	Виражений більш кислий смак, добре виражений смак і запах, властивий буряку

Продовження таблиці 7

1	2	3	4	5
IV	Однорідна пюреподібна маса без включень	Однорідний, світло-рожевий, рівномірний, інтенсивний	Текуча консистенція, маса розтікається по поверхні	Виразений солодкий смак, без стороннього присмаку та запаху
V	Однорідна пюреподібна маса без включень	Однорідний, від малинового до червоного, рівномірний, інтенсивний властивий кольору буряка	Середньої густини, текуча, характеризується наявністю легкого відчуття тіла	Приємний кисло-солодкий смак, запах приємний

Таблиця 8. Розподіл оцінок відповідно до органолептичних характеристик

Назва показника	Коефіцієнт вагомості	Соус буряково-яблучний
Смак	0,14	5
Аромат	0,11	4
Колір	0,32	5
Консистенція	0,26	5
Зовнішній вигляд	0,2	4

Кінцева рецептура соусу, що отримав найвищі бали, представлена в табл. 9.

Таблиця 9. Рецептура сировини на виробництво буряково-яблучного соусу

Сировина та матеріали	Рецептура, кг на 1 т прод.	Втрати та відходи, %
Бурякове пюре	525,0	27
Яблучне пюре	395,0	16
Цукор	45	1,5
Екстракт стевії	20,0	0,5
Імбир	10,0	0,5
Кориця	5,0	0,5

Показник глікемічності вважається низьким, якщо його значення знаходяться в межах від 0 до 39. У нашому випадку ПГ = 14,61 од, отже, «Соус буряково-яблучний» є безпечним, низькокалорійним і рекомендується для промислового впровадження.

Таблиця 10. Рецептурний склад і визначення кількості вуглеводних одиниць соусу

Сировина	Кількість сировини в 100 г продукту	Вміст вуглеводів											
		Глюкоза (ГІ=100%)		Фруктоза (ГІ=20%)		Цукроза (ГІ=60%)		Крохмаль (ГІ=70%)		Клітковина (ГІ=10%)		Пектин (ГІ=30%)	
		У 100 г готового продукту (ГП)											
		сировина	ГП	сировина	ГП	сировина	ГП	сировина	ГП	сировина	ГП	сировина	ГП
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Буряк	52,5	3,6	1,89	1,2	0,63	0,2	0,11	0,054	0,03	1,0	0,53	0,79	0,41

Продовження таблиці 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Яблуко	39,5	2,4	0,94	6,0	2,37	2,0	1,05	0,8	0,31	2,4	0,95	2,4	0,95
Цукор	4,5					99	4,46						
$\sum_{i=1}^m a_i$ у 100 г про- дукту			2,83		3,0		5,62		0,34		1,48		1,36

Висновки

Запропонована технологія виробництва соусу з буряка з використанням екстракту стевії та спецій може застосовуватись як у закладах ресторанного господарства, так і на підприємствах харчової промисловості. Вони відрізняються тільки тим, що після отримання соусу в харчовій промисловості його фасують у скляну упаковку та реалізують, а в ресторанному господарстві отриманий продукт реалізують без додаткових технологічних операцій.

Розроблений буряково-яблучний соус чинить позитивний вплив на організм у цілому, підвищуючи його опірність, та активізує обмін речовин. А заміною вмісту цукру у рецептурі екстрактом стевії на 50% досягаємо зниження калорійності — близько 20%.

Запропонована рецептурна композиція буряково-яблучного соусу може бути використана в подальшому для приготування цього продукту як у промислових умовах, так і в закладах громадського харчування чи вдома. Встановлено високі органолептичні показники буряково-яблучного соусу та розраховано його показник глікемічності.

Література

- Адамчук, Т. В. (2012). Стевія та підсолоджувачі на її основі. *Проблеми харчування*, 1—2, 57—60.
- Антоненко, А. (2009). Оцінка якості нових соусів підвищеної харчової цінності. *Товари і ринки*, 1, 58—62.
- Дзюндзя, О. В. (2013). Новітні технології фруктових соусів. Перспективные инновации в науке, образовании и транспорте: сб. науч. трудов Sworld. Матер. междунар. науч.-практ. конф., 4(17), 51—54.
- Жукевич, О., Рудавська, Г. (2012). Виробництво та споживання соусів в Україні. *Товари та ринки*, 1, 37—65.
- Кузьмина, Г. И. (1994). Соусы и приправы. *Общественное питание*, 4, 30—31.
- Мінагрополітики: виробництво овочів. Взято з: <http://minagro.gov.ua/node/1422>.
- Тележенко Л. М. (2004). *Биологически активные вещества фруктов и овощей и их сохранение при переработке*: монографія. Одеса, Optimum.
- Тележенко, Л. М., Жмудь, А. В. (2009). Тенденції розвитку виробництва соусів. *Харчова наука і технологія*. 2(7), 21—23.
- Clifford, Tom, Howatson, Glyn, West, Daniel J., Stevenson, Emma J. (2015). The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients*. Apr 14;7(4):2801-22. doi: 10.3390/nu7042801.
- Samuel Priscilla and other (2018). Stevia Leaf to Stevia Sweetener: Exploring Its Science, Benefits, and Future Potential. *The Journal of Nutrition*, 148(7), 1186—1205.

INFLUENCE OF FAT REFINING STAGES ON THE CONTENT OF MCPD-ESTERS AND GLYCIDYL ESTERS IN DEODORATED OILS AND METHODS OF REDUCING THEIR CONCENTRATION

A. Demydova

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

T. Nosenko

National University of Food Technologies

I. Levchuk

SE "Ukrmetrteststandard"

Key words:

*2,3-MCPD-esters
(MCPD-E)
Glycidyl esters (GE)
Vegetable oils
Toxic substances
Refining
Deodorization*

Article history:

Received 14.04.2021
Received in revised form
28.04.2021
Accepted 12.05.2021

Corresponding author:

T. Nosenko

E-mail:

tamara_nosenko@ukr.net

ABSTRACT

The purpose of this review is to provide up-to-date information on strategies to reduce the content of 2,3-MCPD-esters (MCPD-E) and glycidyl esters (GE) in deodorized oils. These compounds are food contaminants characterized by carcinogenic effects on the human body, genotoxicity, nephrotoxicity and other types of toxic effects. Today in the EU there are restrictions on the presence of GE in oils and fats at 1000 µg/kg and up to 500 µg/kg when using fats for baby food, for 3-MCPD-esters — 1250 and 750 µg/kg, respectively. Numerous studies showed that these MCPDs were exceeded in various types of heat-treated oil and fat products. The article contains information about possible precursors of these substances. The influence of fat refining stages on the level of MCPD-E and GE formation was considered. Based on the analysis of the scientific literature preventive measures to obtain deodorized oils with a low content of 2,3-MCPD-esters and esters of glycidol were suggested. Such measures may include minimising of acid use during degumming, neutral pH of bleaching lands during adsorption treatment, careful analysis of the final content of variable valence metals and secondary oxidation products as probable causes of glycidol and 3-MCPD-esters formation. Lowering the acidity before any high-temperature treatments. Thus, before the deodorization stage, it was possible to introduce an additional stage of oil treatment with carbonate solutions, which led to a decrease in the concentration of MCPD-E and GE by 60—70%. Modification of the deodorization process is also important. Rapid heating (during 5 min) to 220—250°C, then prolonged deodorization at 160°C can reduce the concentration of 3-MCPD-E by 82% and the concentration of GE by 78%. Removal precursors- chlorine and mono- and diacylglycerols and adding of antioxidants may reduce the formation of MCPD-E and GE.

DOI: 10.24263/2225-2924-2021-27-3-15

ВПЛИВ ОКРЕМИХ СТАДІЙ РАФІНУВАННЯ НА ВМІСТ MCPD-ЕФІРІВ ТА ЕФІРІВ ГЛІЦИДОЛУ В ДЕЗОДОРОВАНИХ ОЛІЯХ І МЕТОДИ ЙОГО ЗМЕНШЕННЯ

А. О. Демидова

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Т. Т. Носенко

Національний університет харчових технологій

І. В. Левчук

ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»

Метою огляду є надання актуальної інформації щодо стратегій зменшення вмісту 2,3-MCPD-ефірів (MCPD-E) і гліцидилових ефірів (GE) у дезодорованих оліях. Ці сполуки є харчовими забруднювачами, що характеризуються канцерогенною дією на організм людини, генотоксичністю, нефротоксичністю та іншими видами токсичних впливів. На сьогодні в ЄС діють обмеження на вміст GE в оліях та жирах на рівні 1000 мкг/кг і до 500 мкг/кг при використанні жирів для виробництва дитячого харчування, для 3-MCPD-ефірів — 1250 та 750 мкг/кг відповідно. Численні дослідження показують перевищення цих ГДК в різних видах термооброблених олійно-жирових продуктах.

Стаття містить інформацію про передумови утворення цих ефірів. Розглянуто вплив окремих стадій рафінування жирів на рівні утворення MCPD-E і GE. Використання кислотного гідратування, кисло-активованих адсорбентів і тривалого високотемпературного дезодорування супроводжується збільшенням вмісту MCPD-E і GE у дезодорованих оліях.

На підставі аналізу наукової літератури виділено перспективні, з точки зору авторів, превентивні заходи, що дають змогу отримувати дезодоровані олії з низьким вмістом 2,3-MCPD-ефірів і ефірів гліцидолу. До таких заходів відносяться: гідратування фосфоліпідів з мінімальним використанням кислот, застосування у ході адсорбційного очищення відбілених земель нейтрального рН, контроль залишкового вмісту металів змінної валентності та вторинних продуктів окиснення як імовірних причин утворення ефірів гліцидолу та 3-MCPD-ефірів, зниження кислотності перед будь-якими високотемпературними обробками. Так, перед стадією дезодорування рекомендовано ввести додаткову стадію обробки олії розчинами карбонатів, що призводить до зниження концентрації MCPD-E і GE на 60—70%. Доцільним є також модифікація процесу дезодорування, а саме: швидке нагрівання до високих температур — 220—250°C (протягом ~ 5 хв), потім тривале дезодорування при 160°C. Така модифікація технології дезодорування надає можливість зменшити концентрацію 3-MCPD-E на 82% і концентрацію GE — на 78%. Вилучення попередників — хлору та моно- і діацилгліцеролів та додавання антиоксидантів може також зменшувати вміст MCPD-E і GE в оліях.

Ключові слова: 2- та 3-MCPD-ефіри (MCPD-E), ефіри гліцидолу (GE), рослинні олії, токсичні речовини, рафінування, дезодорування.

Постановка проблеми. 3-монохлорпропан-1,2-діол (3-MCPD) (англ. 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD)) є харчовим інтоксикантом, що входить до хімічної групи хлорпропанолів, тобто трьохатомних спиртів, заміщених одним або двома атомами хлору. 2-монохлорпропан-1,3-діол (2-MCPD) входить також у групу токсичних сполук, які активно досліджуються в останні роки (Zelinková, 2006; EFSA, 2016; 2019; Greyt, 2020; Lu, 2015). Також у цю групу включають вільний гліцидол та його естери.

У 1978 р. хлорпропанолі були вперше ідентифіковані в кислотно-гідролізованих рослинних білках, що привело до інтенсивних наукових досліджень цієї проблеми. В подальших дослідженнях була доведена наявність хлорпропанолів також у соєвих соусах. Згодом ці сполуки почали досліджуватись більш ретельно, оскільки значні кількості були виявлені в деяких термооброблених продуктах, зокрема в рослинних дезодорованих оліях (Zelinková, Svejková, Velišek & Doležal, 2006).

Гліцидол і хлорпохідні гліцеролу є водорозчинними сполуками, проте жиророзчинними є їх похідні — 2-, 3-MCPD-ефіри (MCPD-E) та ефіри гліцидолу (GE) і жирних кислот. Повний механізм утворення MCPD-E та GE на сьогодні невідомий. Існує декілька теорій (EFSA, 2016; Boyan, 2019). Вважається, що в утворенні MCPD-ефірів беруть участь триацилгліцеролі та атоми хлору. В утворенні ефірів гліцидолу беруть участь молекули діацилгліцеролів (або моноацилгліцеролів), у яких при високих температурах (умовно вище 230°C) відбувається внутрішньомолекулярне перегрупування в результаті міграції заряду з подальшим відщепленням молекули жирної кислоти. Утворення GE сьогодні пояснюють радикальним механізмом.

Ефіри 3-MCPD та GE мають різні хімічні і фізичні характеристики та різний механізм утворення (таблиця). Отже, потрібні різні стратегії з метою їх зменшення у рафінованих харчових оліях.

Таблиця. Технологічні параметри, що впливають на утворення 3-MCPD та GE (Greyt, 2020)

	3-MCPD	GE
Попередники	Триацилгліцеролі, ефіри хлоргідринів	Моно- та діацилгліцеролі (за концентрації > 7%)
Умови переробки, що призводять до збільшення вмісту	Кисле рН	Температура
Механізм утворення	Нуклеофільне заміщення (починаючи з 140°C)	Радикальна реакція (> 230°C)
Критичний етап утворення	Дезодорування	Дезодорування
Етап утворення попередників	Гідратування, адсорбційне очищення	
Стійкість	Не розпадаються при дезодоруванні	Леткі
Зменшення вмісту	Обробка лугами, відмова від кислотно-активованих відбійних земель, високих кількостей хлоровмісних пестицидів, хлорованої води	Обробка лугами, додавання антиоксидантів

Присутність каталізаторів, кислотність і тип сполук хлору є важливими умовами утворення MCPD-E та GE.

В організмі людини 2-, 3-MCPD-ефіри та ефіри гліцидолу перетворюються на вільні MCPD і гліцидол відповідно. Можливе також перетворення гліцидолу на MCPD, яке є зворотним (Bakhiya, Abraham, Gürtler, Appel, & Lampen, 2011). Саме тому вважається, що і вільні 2-MCPD, 3-MCPD, гліцидол, і їх ефіри мають однаковий токсикологічний профіль. Доведена така токсикологічна дія цієї групи речовин (EFSA, 2016; Lu, 2015):

- канцерогенна (підвищують імовірність розвитку ракових пухлин);
- генотоксична (негативно впливають на клітинний геном або ДНК з можливістю виникнення мутацій);
- деструктивно впливають на фертильну функцію і в чоловіків, і в жінок;
- нефротоксичність (призводять до захворювань нирок).

Одержані за останні роки дані щодо токсичності MCPD та гліцидолу, а також їх ефірів призвели до розуміння терміновості обмеження рівня їх вмісту в харчових продуктах. Європейська комісія в регламенті №1881/2006 (Commission Regulation, 2018) обмежила вміст GE у рослинних оліях і жирах на рівні 1000 мкг/кг та до 500 мкг/кг при використанні для виробництва дитячого харчування, для 3-MCPD-ефірів — 1250 та 750 мкг/кг відповідно. Також дозволений випуск риб'ячих жирів та оливкової екстракційної олії «ромасе» з вмістом для 3-MCPD-E 2500 мкг/кг.

У нерафінованих оліях MCPD-E та GE практично відсутні (EFSA, 2016; Yan, 2018; Демидова, 2021). Для їх утворення необхідні високі температури, притама- нні стадії дезодорування. Раніше вважалося, що це температури від 200°C і вище, зараз доведено що MCPD-E утворюється за температур від 140°C, GE — від 230°C. Вміст цих ефірів залежить від виду жиру, що було досліджено в нашій попередній праці (Демидова, Мольченко, Левчук & Носенко, 2021). Проте вміст MCPD-ефірів і ефірів гліцидолу в термооброблених оліях залежить також від умов їх одержання та переробки — застосування кислот (є донорами радикалу водню та, ймовірно, призводять до підвищення вмісту та MCPD-ефірів, і ефірів гліцидолу), використання деяких ферментів (призводять до утворення підвищених кількостей моно- та дігліцеролів і, в результаті, ефірів гліцидолу), від умов (температура, тривалість) дезодорування або інших високотемпературних варіантів обробки олій. Визначити вузький діапазон вмісту MCPD-E та GE, характерних для певного виду олії неможливо, оскільки він залежить і від географічного походження олії, від умов обробки, від ступеня окиснення олії і, напевно, від інших чинників, які ще не встановлені. Тому для всіх типів жирів характерні досить широкі діапазони можливих концентрацій MCPD-E та GE (EFSA, 2016; Yan, 2018; Демидова, 2021).

Численні дослідження свідчать про перевищення ГДК у різних видах термооброблених олійно-жирових продуктів, особливо в дезодорованій пальмовій олії та її фракціях, маргарині, кулінарних жирах, риб'ячому жирі тощо.

Отже, пошук оптимальних стратегій зменшення вмісту 2,3-MCPD-ефірів і ефірів гліцидолу є одним із найбільш актуальних завдань олійно-жирової галузі, для розв'язання якого необхідно встановити вплив різних стадій рафінування жирів на вміст цих токсичних сполук.

Мета статті: аналіз впливу стадій переробки жирів на вміст MCPD-E та GE у дезодорованих жирах і розроблення концепції зменшення їх вмісту.

Матеріали і методи. У пропонованій оглядовій статті використовувались електронні бази даних Science Direct, Scopus, PubMed, Google Scholar, а також AOCS. Пошук відбувався за такими ключовими словами: «chloropropane», «MCPD esters», «Glycidyl esters», «Mitigation of 3-MCPD and glycidyl esters», «3-MCPD esters formation», «effects of degumming and bleaching on 3-MCPD esters», «antioxidants on MCPD esters, glycidyl ester formation».

Викладення основних результатів дослідження. *Попередники 3-MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу.* Моно- та діацилгліцеролі є попередниками утворення ефірів гліцидолу. Саме внаслідок високого вмісту діацилгліцеролів у пальмовій олії фіксуються високі рівні MCPD-E та GE (можливий механізм взаємного перетворення MCPD-E та GE). У м'якоті свіжих плодів оливи й пальми, як правило, діацилгліцеролів не дуже багато (1—3%), але в олії з плодів низької якості, а також у тих жирах, що тривало зберігаються та транспортуються, кількість діацилгліцеролів, особливо 1,3-діацилгліцеролів, збільшується. Там, де їх вміст перевищує 3—4%, спостерігається експоненціальне зростання утворення GE під час дезодорування (Craft, Nagy, Seefelder, Dubois & Destaillets, 2012).

Вплив гідратування фосфоліпідів на вміст 3-MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу в оліях. Метою гідратування фосфоліпідів рослинних олій є підвищення їх гідрофільності та зменшення здатності до розчинності в триацилгліцерилах. З цією метою застосовують водне, кислотне, ферментне гідратування, комбіновані варіанти із застосуванням кислот і лугів, кислот і комплексонів тощо. Використання кислот або ферментних технологій на цій стадії є фактором, що ініціює утворення 3 MCPD-E та GE.

Зокрема, особливістю пальмової олії є низький вміст фосфоліпідів, що зумовлює використання «сухого» гідратування обробкою пальмової олії розчинами фосфорної або лимонної кислот. Наслідком такого гідратування є утворення підвищених кількостей MCPD-E та GE. У (Oey, Fels-Klerx, Fogliano & Leeuwen, 2019) виявлено, що проведення водного промивання після «сухого» гідратування призводило до зменшення вмісту 3-MCPD-E на 25% (з 2,8 до 2,1 мг/кг) і GE — на 16% (з 3,5 до 3,0 мг/кг). В олії, промитій етанолом, вміст 3-MCPD-E зменшився на 36%, а GE — на 26%. Одержані дані змушують виробників пальмової олії, незважаючи на збільшення жирових відходів, використовувати мокре гідратування для зменшення вмісту MCPD-E та GE.

Автори дослідження (Ramli та ін., 2012) виявили, що при застосуванні для гідратування 0,02-відсоткового розчину фосфорної кислоти в олії утворилось 2,1 мг/кг 3-MCPD-E, тоді як при проведенні водного гідратування вміст 3-MCPD-E в олії становив 0,75 мг/кг (нижчий на 64%). У праці (Zulkurnain та ін., 2012) встановлено, що під час фізичного рафінування в результаті заміни кислотного гідратування фосфорною кислотою водним гідратуванням вміст 3-MCPD-E в пальмовій олії знизився на 80%.

Отже, кислотне гідратування фосфоліпідів рослинних олій є стадією рафінування, що стимулює утворення MCPD-E та GE. Аналогічний вплив має також ферментне гідратування з використанням фосфоліпази C, яке зумовлює підвищення вмісту моно- та діацилгліцеролів в олії.

Нейтралізація жирних кислот та вміст 3-MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу в оліях. Низкою авторів встановлено, що внаслідок хімічної нейтралізації жирів лужними розчинами вміст 3-MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу в рафінованих жирах зменшується. З'ясовано, що при застосуванні гідроксиду калію, оксиду кальцію, гідроксиду натрію вміст MCPD-E та GE зменшувався на 35 — 45% (Pudel та ін., 2011). Автори праці (Freudenstein, Weking & Matthäus, 2013) виявили, що при використанні для нейтралізації 5 мМоль Na_2CO_3 /кг олії вміст 3-MCPD-ефірів зменшився на 53% (з 5,9 до 2,8 мг/кг) та на 69% для суми споріднених ефірів (від 7,0 до 2,2 мг/кг). Гідрокарбонат натрію виявився ще більш ефективним: концентрація лише у 1 мМоль/кг олії забезпечувала 81-відсоткове зменшення концентрації 3-MCPD-E (з 5,9 до 1,1 мг/кг) та 84-відсоткове — вмісту споріднених ефірів.

Отже, стадію лужної нейтралізації можна використовувати і як ефективний інструмент зменшення вмісту 3-MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу в рафінованих оліях. Також доцільним виглядає застосування промивки олії водним розчином гідрокарбонатів перед проведенням дезодорування.

Адсорбційне рафінування жирів та вміст 3-MCPD-ефірів і ефірів гліцидолу. Накопичено достатньо експериментальних даних щодо впливу відбільних земель на вміст MCPD-E та GE, проте висновки з них досить неоднозначні. В цілому слід зазначити, що внаслідок адсорбційного рафінування вміст токсикантів зменшується у зв'язку з вилученням металів (попередників GE), хлоровмісних сполук (залишків пестицидів тощо). Застосування відбільних земель із нейтральним рН є ефективним методом зниження вмісту 3-MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу в рафінованих жирах. У праці (Ramli та ін., 2012) показано, що використання нейтральної відбілювальної глини призвело до суттєвого (на 78%) зниження концентрації 3-MCPD-E. У той же час авторами дослідження (Zulkurnain та ін., 2012) виявлено високі значення концентрації 3-MCPD-E при використанні нейтральної глини. Очевидно, на утворення токсичних ефірів впливає також і тип самої глини. Використання кисло-активованих відбільних земель призводить до підвищення вмісту MCPD-E.

Адсорбент силікат магнію може виступати адсорбуючим агентом для попередника 3-MCPD-E — атому хлору. Проте його застосування не зменшило вміст 3-MCPD-E порівняно з кисло-активованою глиною (Zulkurnain та ін., 2012). Імовірно, це пов'язане з більш ефективним вилученням відбільними землями інших попередників 3-MCPD-E — продуктів окиснення, металів, пігментів тощо. Однак комбінація силікату магнію та відбільних земель (дві стадії адсорбційного очищення або змішування двох відбільних агентів) в експерименті призвела до найнижчих концентрацій 3-MCPD-E.

У дослідженнях авторів (Cheng, Liu, Wang & Liu, 2017) встановлена залежність між вмістом 3-MCPD-ефірів та умовами проведення кислотного гідратування із застосуванням кисло-активованих глин. Використання 0,1% фосфорної кислоти і кисло-активованої глини призводило до утворення високих рівнів 3-MCPD-ефірів в дезодорованій олії — до 3,89 ppm. В олії ж після водного гідратування з використанням натуральних вибільних земель 3-MCPD-ефіри не були виявлені взагалі.

Досліджувалась також можливість вилучення вже одержаних на стадії дезодорування MCPD-E та GE за допомогою адсорбентів (Mitigation, 2019). Застосування п'яти з дев'яти адсорбентів призвело до помітного зростання концентрації ефірів гліцидолу. Аморфний силікат магнію, цеоліт і синтетичний силікат магнію менше впливали на зміни вмісту GE. Рівень MCPD-E був більш стабільним.

Підхід до вилучення MCPD-E та GE з олій після дезодорування можна вважати досить ефективним. Адсорбентом, який здатний ефективно видаляти GE, виявилось активоване вугілля, виготовлене з деревини олійної пальми (має назву OPAC). Активоване вугілля промивають кислотою для досягнення високої мезопористості та кислого середовища на її поверхні. В дослідженні (Cheng, Liu, Wang & Liu, 2017) при концентрації OPAC, промитого кислотою, 30 мг/100 мл олій, спостерігалось 95-відсоткове зниження рівня GE (з 3,75 до 0,2 мг/кг). Проте в дослідженні не встановлювався вміст MCPD-E, тому таку технологічну стадію передчасно рекомендувати для застосування.

Вплив стадії дезодорування олій на вміст в оліях 3-MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу. Високі температури дезодорування є причиною утворення 3-MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу.

З початку досліджень умов утворення 3-MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу в рослинних оліях вважалося, що це відбувається переважно за температур, вищих за 220—230°C. Пізніше з'явилися дані про утворення 3-MCPD-E при більш низьких температурах $\geq 140^\circ\text{C}$, а його кількість підтримується на тому ж рівні з підвищенням температури.

Твердження, що утворення GE відбувається при набагато вищій температурі ($> 220^\circ\text{C}$), ніж температура, при якій можуть почати формуватися 2-та-3-MCPD-E, підтверджено авторами праці (Matthäus & Pudel, 2013). GE в основному утворюються з діацилгліцеролів при температурі $> 230^\circ\text{C}$. Це пояснює високий вміст GE у стандартній рафінованій пальмовій олій, оскільки ця олія, як правило, має високий вміст діацилгліцеролів (6—8%) і дезодорується при високій температурі (260°C) протягом приблизно 1 год (Raft, Nagy, Sandoz & Destaillets, 2012). Утворення GE може бути мінімізовано за рахунок зменшення температури під час дезодорування.

У ході дезодорування було виявлено такі зміни вмісту 3-MCPD-E та ефірів гліцидолу (Pudel, Benecke, Vosmann & Schwaf, 2011):

- подовження тривалості дезодорування з 1 до 5 год призводить до зменшення вмісту 3-MCPD-E, при цьому кількість ефірів гліцидолу залишається незмінною;
- існує чітка кореляція між кількістю ефірів гліцидолу й температурою дезодорування: за температур 230°C і вищих утворюється суттєво більше ефірів гліцидолу порівняно з нижчими температурами дезодорування;
- при тривалому дезодоруванні за температури 290°C відбувається зменшення вмісту і 3-MCPD-E і гліцидолових ефірів (імовірний їх розпад або відгонка);
- при тривалому дезодоруванні за низьких температур вміст GE суттєво знижується, що може бути викликане перегонкою GE й трансформацією, тобто GE можна видалити в ході дезодорування. Вони мають схожу з моноацилгліцеридами летючість.

В іншій праці автори (Shimizu та ін., 2012) приходять до висновку, що 3-MCPD-E дуже термостійкий, що доведено незмінною концентрацією протягом нагрівання та дослідженням стабільності.

Одержані дані стали передумовою для розробки «м'яких» способів дезодорування. З метою зниження вмісту токсичних ефірів проводять двостадійне дезодорування — спочатку короткочасне високотемпературне нагрівання (наприклад, 1 год при 240°C), потім тривала обробка при нижчих температурах (наприклад, 180°C протягом 4 год) (Shimizu та ін., 2012).

Інший варіант «м'якого» дезодорування запропоновано в праці (Matthäus, Pudel, 2013): олія спочатку дезодорувалась при 200°C протягом 120 хв, а потім при температурі 250°C протягом 5 хвилин. За таких параметрів спостерігалось зменшення вмісту 3-MCPD-E на 65% (від 2 мг/кг до 0,7 мг/кг) та GE — на 35% (від 2 мг/кг до 1,3 мг/кг).

Ще одним вирішенням проблеми зменшення вмісту хлорпропанолів в оліях є зміна конструкції дезодоратора. Pudel із співавт. (Pudel, Benecke, Vosmann & Matthäus, 2016) запропонували дезодорування в короткій дезодораційній колоні. Дистиляція впродовж скороченої дистанції дає змогу більш ретельно видаляти леткі сполуки без необхідності нагрівати олію до високих температур. Залишковий тиск під час такої дистиляції становить приблизно 3—10 мбар (порівняно з 2—4 мбар у звичайному процесі). Основна відмінність від звичайного дезодоратора — це його дистиляційна камера, яка є двошаровим скляним циліндром. Олія стікає по внутрішній стінці, внаслідок чого температуру можна регулювати більш ретельно. Інтенсифікація відгонки летких сполук відбувається за рахунок утвореного тонкого шару олії та збільшення її площі поверхні. За оптимальних умов такої дистиляції відмічали зниження концентрації 3-MCPD-E та GE на 90% і 98% відповідно.

Ефективним також виявився варіант використання низки добавок під час дезодорування. Зокрема, встановлено, що додавання від 0,5% до 2,5% етанолу чи гліцерину до вибіленої олії перед дезодоруванням знизило концентрацію 3-MCPD-E на 30 (Matthäus, Pudel, 2013). Автори цієї ж праці виявили, що додавання від 1 до 5 ммоль/кг карбонатів (гідрокарбонату калію, або бікарбонату натрію) призводить до зниження концентрації 3-MCPD-ефірів та ефірів гліцерину на 66%.

Автори дослідження (Pudel, Benecke, Vosmann & Schwaf, 2011) спостерігали 50-відсоткове зниження вмісту 3-MCPD-E внаслідок додавання до рослинних олій діацетину (діацетат гліцерину), який може конкурувати з іншими діацилгліцеридами за наявний хлор. Оскільки діацетин є більш летким, ніж інші ДАГ, його можна повністю видалити під час дезодорування.

Вплив ступеня окисненості та застосування антиоксидантів. Чжан із співт. (Zhang та ін., 2016) використовували чотири різні антиоксиданти (α -токоферол, екстракт розмарину, ліпофільні чайні поліфеноли та L-аскорбіл-пальмітат) як добавки до вибіленої пальмової олії. Антиоксиданти взаємодіяли з вільними радикалами та запобігали утворенню MCPD-E та GE. Екстракт розмарину (6%) значно знизив концентрацію 3-MCPD-E (на 82,4%, з 2,44 мг/кг до 0,43 мг/кг). Проте екстракт розмарину неприйнятний для додавання до рослинних олій уна-

слідок різкого аромату. Ліпофільні чайні поліфеноли (6%) змогли знизити концентрацію 3-MCPD-E на 75% (з 2,44 мг/кг до 0,61 мг/кг). На основі одержаних даних автори запропонували теорію щодо участі вільних радикалів у формуванні 3-MCPD-E та GE (Zhang та ін., 2016).

Чен із співт. (Cheng, Liu, & Liu, 2017) досліджували вплив штучного антиоксиданту трет-бутилового гідрохінону (TBHQ) на утворення GE в пальмовій, соєвій та лляній олії. При збільшенні кількості TBHQ зменшувався рівень GE. При додаванні 1,8 мг/г TBHQ до пальмової олії було досягнуто зниження концентрації GE приблизно на 53% (від 1,7 мг/кг до 0,8 мг/кг). Аналогічні результати спостерігалися для соєвої та лляної олії.

У праці (Wong та ін., 2019) оцінено вплив різних антиоксидантів на утворення MCPD-E та GE при застосуванні пальмового олеїну як фритюрного жиру. Ефективність досліджених антиоксидантів підвищувалась у ряду: BHT (іонол) < BHA (бутилгідроксианізол) < екстракт шавлії < олеорезин розмарину < TBHQ. Рівень утворення моно- та діацилгліцеролів зменшувався в зазначеній послідовності антиоксидантів.

Результати, отримані (Zhang, 2017; Wong, 2019), доводять актуальність цього напрямку досліджень — пошуку способів зменшення вмісту MCPD-E та GE на основі вільнорадикальної теорії їх утворення. Тобто необхідно провести пошук ефективних антиоксидантів і сумішей антиоксидантів, здатних впливати на зменшення вмісту MCPD-E та GE. Залежність між ступенем окисненості олій і кількістю ефірів гліцидолу має обернено пропорційний характер. Імовірно, руйнування накопичених ефірів гліцидолу пов'язане з процесами глибокого окиснення в оліях. Так, з підвищенням значення анізидинового числа в процесі смаження кількість ефірів гліцидолу не підвищувалась відповідно (Aniołowska, Kita, 2015).

У праці (Aniołowska & Kita, 2015) встановлено, що кількість ефірів гліцидолу зменшувалась при тривалому смаженні у фритюрі. Так, через 40 год смаження картопляних чипсів у пальмовій олії, вміст в ній ефірів гліцидолу знизився на 93%. Зростання вмісту ефірів відбувалося лише впродовж перших 8 годин. Автори дослідження на основі експериментальних даних прийшли до висновку, що на рівень утворення ефірів гліцидолу у фритюрних жирах впливає переважно вміст діацилгліцеролів.

Автори праці (Budilarto, Kamal-Eldin, 2015) стверджують, що зниження рівня утворення ефірів гліцидолу при застосуванні антиоксидантів відбувається за рахунок здатності останніх затримувати утворення ді- та моноацилгліцеролів з триацилгліцеролів (ефір гліцидолу може утворюватися з них при високій температурі). Процес утворення ініціюється видаленням протонованої гідроксильної групи з подальшим внутрішньомолекулярним перегрупуванням проміжного ациллоксонію і, нарешті, відділенням жирної кислоти (Destailats, Craft, Dubois & Nagy, 2012). Найвища ефективність була одержана з використанням пальмового олеїну та TBHQ в кількості 200 ppm. У праці (Budilarto & Kamal-Eldin, 2015) також доведено, що пероксидні сполуки ініціюють утворення 3-MCPD-ефірів.

Комбіновані стратегії. Найбільш економічно доцільним та ефективним можна вважати поєднання декількох методів зниження вмісту 2,3-MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу. Такі дослідження вже проводяться. Наприклад, у праці (Zulkur-

nain, Lai, Tan, Abdul Latip & Tan, 2013) досліджено модифікований процес рафінування. Для оптимізації було об'єднано п'ять параметрів очищення: дозування води, дозування фосфорної кислоти, температура гідратування, дозування активованої глини й температура дезодорування. Раціональні умовами рафінування: 3,5% води для гідратування, 0,08% фосфорної кислоти, температура гідратування — 60°C. У поєднанні з 0,3% відбілювальної глини та 260°C при дезодоруванні автори дослідження змогли знизити концентрацію 3-MCPD-E на 87,2% з 2,95 до 0,37 мг/кг. Однак у статті не доведено вплив, наприклад, кількості води при гідратуванні й температури цього процесу на утворення MCPD-E та GE, тому вибір деяких параметрів рафінування для оптимізації викликає сумніви. Це доводить лише необхідність більшої кількості комплексних досліджень, які б застосовували базу накопичених даних щодо умов утворення попередників MCPD-E та GE.

На жаль, в жодній з наведених праць не було досліджено факторів, що впливають на утворення 2-MCPD-E. Це свідчить, що існує значна прогалина в даних і знаннях щодо зменшення вмісту 2-MCPD-E, що зумовлює проведення майбутніх досліджень.

Висновки

Рафінування жирів має низку можливостей вилучення попередників утворення 2,3-MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу. На сьогодні одержано достатньо експериментальних даних щодо пошуків способів зменшення їх вмісту в дезодорованих оліях і є очевидним, що розробка ефективної концепції захисту олій від утворення 2,3-MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу потребує комплексної модифікації всього процесу рафінування. Більшість досліджень зосереджена на одному параметрі або на одній стадії рафінування, що може бути достатнім для високоякісної вихідної сировини, проте недостатнім для постійної безпечної роботи підприємств. З огляду на останні вимоги, встановлені Європейською комісією щодо вмісту в оліях гліцидилових ефірів, 3-MCPD-ефірів, олієпереробним підприємствам варто замислитися над вибором обґрунтованих стратегій вилучення попередників утворення токсичних ефірів протягом усього процесу переробки.

Концепція захисту рослинних жирів від утворення 3-MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу може включати такі положення:

1. Проведення водного гідратування або інших видів гідратування з мінімальним використанням кислот. Відмова від використання фосфоліпази C. При застосуванні водного гідратування концентрація 3-MCPD-E зменшувалась на 84% і для GE — на 26%.

Стадія нейтралізації позитивно впливає на зниження рівнів утворення 3-MCPD-ефірів і гліцидилових ефірів. Встановлено, що нейтралізація за допомогою NaHCO_3 або КОН знижує концентрацію 3-MCPD-E на 81% і GE — на 84%.

Адсорбційне рафінування є найбільш критичною стадією переробки щодо впливу на вміст 3-MCPD-ефірів і гліцидилових ефірів. Необхідним є використання відбілювальних земель нейтрального рН і відмова від кислотної активації адсорбентів. Відбілювання олії нейтральною глиною після обробки водою знижує концентрацію 3-MCPD-E на 46%.

2. Ретельний аналіз залишкового вмісту металів змінної валентності та продуктів окиснення як імовірних причин утворення 3-MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу після проведення адсорбційного рафінування. Перед стадією дезодорування доцільно ввести додаткову стадію обробки олії розчинами карбонатів (гідрокарбонату калію, або бікарбонату натрію), що призводить до зниження концентрації 3-MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу на 60—70%. Доцільно знижувати кислотність перед будь-якими високотемпературними обробками;

3. Використання антиоксидантів і пошук найбільш ефективних антиоксидантів.

4. Модифікація технології дезодорування — спочатку швидкий нагрів до високих температур — 220—250°C (протягом ~ 5 хв), потім тривале дезодорування при 160°C може знизити концентрацію 3-MCPD-E на 82% і концентрацію GE — на 78%;

5. Видалення попередників — іонів хлору та моно- і діацилгліцеролів.

Запропоновані рекомендації можуть використовуватись як вибірково, так і комплексно, виробники рафінованих олій повинні обирати найбільш доцільний варіант залежно від виду сировини, обладнання тощо.

До недоліків сучасного погляду на зменшення вмісту в оліях токсичних речовин нового типу слід віднести практично повну відсутність даних щодо 2-MCPD-ефірів. Цей недолік даних не можна ігнорувати, коли розробляються нові технологічні рішення або стратегії.

Наявність кореляції між ступенем окисненості олій та рівнями утворення MCPD-E та GE вимагає подальших досліджень у цьому напрямку.

Література

Демидова А. О., Мольченко С. М., Левчук І. В., Носенко Т. Т. (2021). Вміст MCPD-ефірів і ефірів гліцидолу в олійно-жирових продуктах. *Scientific Works of NUFT*, 27(1), 135—150.

Aniolowska, M. A., Kita, A. M. (2015). The effect of raw materials on thermo-oxidative stability and glycidyl ester content of palm oil during frying. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, (6), 2257—2264.

Bakhiya, N., Abraham, K., Gürtler, R., Appel, K. E., Lampen, A. (2011). Toxicological assessment of 3-chloropropane-1,2-diol and glycidol fatty acid esters in food. *Molecular Nutrition & Food Research*, 55, 509—521.

Boyan Gao, Yanfang Li, Guoren Huang, and Liangli Yu. (2019). Fatty Acid Esters of 3-Monochloropropanediol: A Review. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, 25(10), 259—284.

Budilarto, E. S., Kamal-Eldin, A. (2015). The supramolecular chemistry of lipid oxidation and antioxidation in bulk oils. *Eur J Lipid Sci Technol*, 117(8), 1095—1137.

Cheng, W., Liu, G. & Liu, X. (2017). Effects of Fe³⁺ and antioxidants on glycidyl ester formation in plant oil at high temperature and their influencing mechanisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(20), 4167—4176.

Cheng, W., Liu, G., Wang, L. & Liu, Z. (2017). Glycidyl fatty acid esters in refined edible oils: A review on formation, occurrence, analysis, and elimination methods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(2), 263—281.

Craft, B. D., Nagy, K., Seefelder, W., Dubois, M., Destailats, F. (2012). Glycidyl esters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. Part II: Practical recommendations for effective mitigation. *Food Chemistry*, 132(1), 73—79.

Commission Regulation (EU) 2018/290 of 26 February 2018 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of glycidyl fatty acid esters in vegetable oils and fats, infant formula, follow-on formula and foods for special medical purposes intended for infants and young children (Text with EEA relevance). *OJL*. Vol. 55, 27—29.

- Destailats, F., Craft, B. D., Dubois, M., Nagy, K. (2012). Glycidyl esters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. Part I: Formation mechanism. *Food Chem*, 131(4), 1391—1398.
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Risks for human health related to the presence of 3- and 2- monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food. (2016) *EFSA Journal*, 14(5).
- Freudenstein, A., Weking, J., Matthäus, B. (2013). Influence of precursors on the formation of 3-MCPD and glycidyl esters in a model oil under simulated deodorization conditions. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115(3), 286—294.
- Greyt, W. (2020). Deodorization. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, Fereidoon Shahidi (Editor), vol. 6, 1—44.
- Lu, J., Wang, Z., Ren, M., Feng, G., Ye, B. (2015). A 4-week study of four 3-monochloropropane-1,2-diol diesters on lipid metabolism in C57BL/6J mice. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 40, 453—58.
- Matthäus, B., Pudel, F. (2013). Mitigation of 3-MCPD and glycidyl esters within the production chain of vegetable oils especially palm oil. *Lipid Technology*, 25(7), 151—155.
- Sergio, B., Oey, H. J. van der Fels-Klerx, Vincenzo Fogliano, Stefan, P. J. van Leeuwen (2019). Mitigation Strategies for the Reduction of 2- and 3-MCPD Esters and Glycidil Esters in the Vegetable Oil Processing Industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 18(1), 349—361.
- Pudel, F., Benecke, P., Fehling, P., Freudenstein, A., Matthäus, B., Schwaf, A. (2011). On the necessity of edible oil refining and possible sources of 3-MCPD and glycidyl esters. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113(3), 368—373.
- Pudel, F., Benecke, P., Vosmann, K., & Matthäus, B. (2016). 3-MCPD- and glycidyl esters can be mitigated in vegetable oils by use of short path distillation. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118(3), 396—405.
- Raft, B. D., Nagy, K., Sandoz, L., Destailats, F. (2012). Factors impacting the formation of monochloropropanediol (MCPD) fatty acid diesters during palm (*Elaeis guineensis*) oil production. *Food Additives and Contaminants — Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 29(3), 354—361.
- Ramli, M. R., Siew, W. L., Ibrahim, N. A., Hussein, R., Kuntom, A., Abd. Razak, R. A., Nesaret-nam, K. (2012). Effects of degumming and bleaching on 3-MCPD esters formation during physical refining. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(11), 1839—1844.
- Shimizu, M., Moriwaki, J., Shiiba, D., Nohara, H., Kudo, N., Katsuragi, Y. (2012). Elimination of glycidyl palmitate in diolein by treatment with activated bleaching earth. *Journal of Oleo Science*, 61(1), 23—28.
- Strijowski, U., Heinz, V., Franke, K. (2013). Removal of 3-MCPD esters and related substances after refining by adsorbent material. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113(3), 387—392.
- Wong, Y. H., Goh, K. M., Nyam, K. L., Nehdi, I. A., Sbihi, H. M., Tan, C. P. (2019). Effects of natural and synthetic antioxidants on changes in 3-MCPD esters and glycidyl ester in palm olein during deep-fat frying. *Food Control*, 96(3), 488—493.
- Yan, J., Oeya, S. B., van Leeuwena, S. P. J., van Ruth, S. M. (2018). Discrimination of processing grades of olive oil and other vegetable oils by monochloropropanediol esters and glycidyl esters. *Food Chemistry*, 248, 93—100.
- Zelinková, Z., Svejková, B., Velišek, J. and Doležal, M. (2006). Fatty acid esters of 3-chloropropane-1,2-diol in edible oils. *Food Additives and Contaminants*, 23, 1290—1298.
- Zhang, H., Jin, P., Zhang, M., Cheong, L., Hu, P., Zhao, Y. (2016). Mitigation of 3-monochloro-1,2-propanediol ester formation by radical scavengers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(29), 5887—5892.
- Zulkurnain, M., Lai, O. M., Latip, R. A., Nehdi, I. A., Ling, T. C., Tan, C. P. (2012). The effects of physical refining on the formation of 3-monochloropropane-1, 2-diol esters in relation to palm oil minor components. *Food Chemistry*, 135(2), 799—805.
- Zulkurnain, M., Lai, O. M., Tan, S. C., Abdul Latip, R., Tan, C. P. (2013). Optimization of palm oil physical refining process for reduction of 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) ester formation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(13), 3341—3349.

THE CRITERIA OF FRUIT AND BERRY RAW MATERIALS' SUITABILITY FOR FREEZING AND THEIR PRACTICAL REALIZATION

G. Simakhina

National University of Food Technologies

Key words:

Raw fruit and berries

Organoleptic indices

Freezing

Estimation

Appearance

The state of the surface

Color

Taste

Article history:

Received 02.04.2021

Received in revised form

14.04.2021

Accepted 29.04.2021

Corresponding author:

G. Simakhina

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

One of the substantial criteria to evaluate the suitability of fruit and berries for freezing is the organoleptic characteristic of the latter due to the fact that they draw the special attention of consumers. This characteristic is also the base to evaluate the frozen half products and foodstuffs with their inclusion; therefore, it is no wonder that sensory modification of foodstuffs dates back to ancient times.

The appearance of fruit and berries (including their shape, size, color, maturity grade, freshness and so on) is alleged to be the complex index. Moreover, whenever a taster uncovers the discrepancy of fruit and berries to the legislated norms, it makes inexpedient the usage of any other evaluation criteria. However, even in updated research works dealing with fruit and berry raw materials the precise evaluation criteria are not yet elaborated, neither their array for fresh or frozen raw materials is enlarged.

The first and the extremely important technological operation in preservation of raw fruit and berries is their scientifically substantiated selection with consideration of organoleptic indices. The authors of the article proposed the new approaches to improve the existing methods of estimation; particularly, the novelty index, "surface state", was implemented as the factor to define the fruit and berries' ability to cold adaptations, their structural holity after defrosting, and therefore — the high quality of products. For the first time, the authors broadened the description of organoleptic indices of both the initial raw and the products obtained from it; the 5-grade scale was used for estimation of the products to furthermore increase objectivity and efficacy of such kind of analysis.

Overall, what makes any raw material suitable for freezing in terms of organoleptic indices is the following: fruit and berries should be well-conditioned, of homogenous content, with proper taste, color, flavor, surface state, and maturity grade level. According to the rating scale proposed in the article, only the raw materials evaluated in 3 to 5 points meet the stated requirements.

КРИТЕРІЇ ПРИДАТНОСТІ ПЛОДОВО-ЯГІДНОЇ СИРОВИНИ ДО ЗАМОРОЖУВАННЯ ТА ЇХ ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

Г. О. Сімахіна

Національний університет харчових технологій

Серед критеріїв оцінки придатності плодів і ягід до заморожування одними з найважливіших є органолептичні показники, яким споживачі приділяють особливу увагу. За ними оцінюють також заморожені напівфабрикати і продукти з їх використанням, тому не дивно, що сенсорна модифікація харчових продуктів має таке давнє застосування.

Зовнішній вигляд плодово-ягідної сировини, що включає форму, величину, забарвленість, ступінь зрілості, свіжості тощо вважається комплексним показником. Більш того, виявлена дегустатором невідповідність плодів і ягід за зовнішнім виглядом встановленим нормативам робить недоцільним використання інших критеріїв оцінки. Однак навіть у сучасних дослідженнях досі не запропоновано чітких критеріїв оцінки зазначених показників, не розширено їх перелік ні для свіжої, ні для замороженої сировини.

Першою і надзвичайно важливою технологічною операцією консервування плодово-ягідної сировини заморожуванням є її науково обґрунтований вибір, за якого основна увага приділяється органолептичним показникам. У статті запропоновано нові підходи до існуючих методик оцінювання цих показників, зокрема введено показник «стан поверхні» плодів та ягід, оскільки саме він визначає їхню здатність до холодових адаптацій, структурну цілісність після дефростації, а значить, і високу якість продукції. Вперше розширено опис характеристик органолептичних показників свіжої сировини та отриманих із неї заморожених напівфабрикатів, які оцінено за 5-бальною шкалою, що підвищує об'єктивність і результативність такого аналізу.

Для заморожування необхідно використовувати, з точки зору органолептичних характеристик, лише здорові, без механічних та мікробіологічних ушкоджень, плоди та ягоди, однорідного складу, з відповідним смаком, кольором, станом поверхні та ароматом, з'ємної зрілості. За запропонованою у статті шкалою бальної оцінки цим вимогам відповідають плоди та ягоди, що отримали оцінку від 3 до 5 балів.

Ключові слова: плодово-ягідна сировина, органолептичні властивості, заморожування, оцінювання, зовнішній вигляд, стан поверхні, колір, смак.

Постановка проблеми. Сьогодні загальноновизнано: зберігання плодово-ягідної сировини впродовж року без істотних втрат цінних біокомпонентів (дефіцитних у раціонах харчування населення України) з використанням штучного холоду є найнефективнішим способом її консервування.

Усіх цих ефектів реально досягти лише за умови, що вихідна сировина має необхідну харчову та біологічну цінність, належні сенсорні та гігієнічні показники.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останніми дослідженнями перелік цих критеріїв значно розширено (Сімахіна, 2018), що дало змогу всебічно обґрунтувати вибір плодів і ягід для заморожування й тривалого зберігання. Такий підхід важливий тому, що використання заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів найбільш інтенсивно проходить у зимово-весняний період за відсутності свіжої сировини, коли вони стають практично єдиним натуральним джерелом аскорбінової кислоти, біофлавоноїдів, зокрема антоціанів, каротиноїдів та інших вітамінів-антиоксидантів, а також пектинових речовин і мінеральних елементів.

Серед критеріїв оцінки придатності плодів і ягід до заморожування (Гельфанд, Дьяконова & Медведева, 1990) одними з найважливіших є органолептичні показники. За ними оцінюють також заморожені напівфабрикати і готову продукцію. Зовнішній вигляд, колір, аромат, смак насамперед впливають на вибір споживача, тому не дивно, що сенсорна модифікація харчових продуктів (Сімахіна & Науменко) має таке давнє застосування.

Важливими резервами поліпшення органолептичних та якісних показників заморожених продуктів і напівфабрикатів є дотримання оптимальної температури зберігання (-18°C), використання нових пакувальних матеріалів (Богданова & Домбровська, 2018), попереднє оброблення плодів та ягід кріопротекторами (Сімахіна & Науменко, 2011) у поєднанні із «шоковим» заморожуванням (Волова, 2006), раціональні способи дефростації, що забезпечують мінімальні втрати клітинного соку (Белінська, 2009). Від зазначених чинників безпосередньо залежить також харчова та біологічна цінність страв, приготованих із заморожених напівфабрикатів у закладах ресторанного господарства чи в домашніх умовах.

Оцінка харчової та біологічної цінності заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів за такими важливими показниками, як вміст аскорбінової кислоти, біофлавоноїдів, антоціанів, цукрів, органічних кислот, харчових волокон (Петрова, 1987) дала підстави віднести самі напівфабрикати й отримані на їхній основі готові вироби до високоякісних, здатних цілорічно забезпечити нутритивні потреби всіх верств населення в есенціальних мікронутрієнтах відповідно до індивідуальних фізіологічних потреб людини, в тому числі в екстремальних умовах життєдіяльності (Українець, Сімахіна, Стеценко, Науменко & Кочубей-Литвиненко, 2017).

Зовнішній вигляд, який включає форму, величину, забарвленість, ступінь зрілості, свіжість тощо, вважається комплексним показником. Виявлена дегустатором невідповідність плодів та ягід за зовнішнім виглядом робить недоцільним використання інших критеріїв оцінки (Цапалова, 2005).

Однак навіть у сучасних дослідженнях досі не розроблено чітких критеріїв оцінки зазначених показників, не розширено їхній перелік ні для свіжої, ні для замороженої сировини (Заморська, 2018). До нинішнього часу діє один стандарт — ДЕСТ 8756.1 «Продукти харчові консервовані. Методи визначення органолептичних показників», який не враховує постійно зростаючих вимог до якості сировини і готових продуктів і в якому замороженим напівфабрикатам майже не приділяється увага.

Ускладнюється все й тим, що сукупність ознак, які характеризують органолептичні властивості сировини і готових продуктів, визначається лише візуально,

що не виключає помилок і суб'єктивності результатів дегустаційного аналізу. Тому, зважаючи на важливість сенсорної оцінки харчових продуктів, і з метою вдосконалення існуючих методик у пропонованій статті розглянуто саме таке питання.

Мета статті: на основі літературних даних і за результатами власних досліджень розширити трактування характеристики показників органолептичних властивостей свіжих плодів, ягід і отриманих з них заморожених напівфабрикатів для надання їм достатньої об'єктивності і розробити 5-бальну шкалу оцінювання кожного показника, що загалом підвищує вимоги до сировини та гарантує високу якість заморожених продуктів упродовж усього терміну зберігання і після дефростації.

Викладення основних результатів дослідження. Заморожені плодово-ягідні напівфабрикати не потребують додаткового використання штучних антиоксидантів, консервантів, барвників, інших хімічних сполук. Вони є прекрасною основою для приготування різноманітних страв, зокрема дієтичних, низькокалорійних, для дитячого і геронтологічного харчування. Вони відіграють велику роль у створенні в Україні індустрії здорового харчування як пріоритетного сучасного напрямку розвитку харчової промисловості в усьому світі (Українець, Сімахіна, Науменко & Камінська, 2019). Тому розширення асортименту заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів і його реалізація на внутрішньому та зовнішньому ринках має також важливе соціально-економічне значення для України.

Заморожування плодів і ягід, у тому числі дикорослих, відкриває широкі можливості найбільш повно зберегти вирощений урожай, що має сезонний характер, доставити його до столу споживача з тим багатим розмаїттям біологічно активних речовин, які синтезовано в сировині природою, і використовувати її у міжсезонний період, досягаючи таких же позитивних ефектів на організм людини, як і від свіжих плодів та ягід. Виробництво заморожених напівфабрикатів надає можливість забезпечити різні регіони України високовітамінною продукцією, зокрема тією, яка в певних місцях не вирощується, і таким чином найповніше забезпечити потреби споживачів.

Переваги використання заморожених напівфабрикатів для виготовлення готових страв досить різнобічні, для їх приготування потрібно вдвічі менше часу, ніж для свіжих; витрати часу зменшуються також за рахунок використання готових заморожених страв, особливо в упаковці, що дає змогу здійснювати їх безпосереднє розігрівання; при роботі із замороженими продуктами і напівфабрикатами значно поліпшуються санітарно-гігієнічні умови приготування їжі — як у сфері ресторанного господарства, так і в домашніх умовах. Усе це дуже важливо, адже роль ресторанного господарства постійно зростає, вимагаючи пошуку нових шляхів удосконалення якісних і органолептичних показників їжі, розширення її асортименту і гарантії абсолютної безпеки для споживачів. Швидке приготування їжі із заморожених напівфабрикатів набуває особливого значення в санаторно-курортних закладах, місцях літнього і зимового відпочинку, туристичних базах тощо.

Отримання заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів створює можливість не лише їх безпосереднього використання, а й забезпечення сировиною

інших галузей харчової промисловості та сфери ресторанного господарства, наприклад, при виробництві фруктових і молочних кремів, морозива, смузі, желе, коктейлів тощо. Заморожування і зберігання в оптимальних умовах плодово-ягідної сировини забезпечує консервування навіть надлишкової її кількості в урожайні роки і раціональне використання при меншій урожайності. Це відкриває перспективи не лише для внутрішнього ринку, а й зарубіжного.

Зважаючи на те, що і за органолептичними показниками, і за якісним складом заморожена продукція повинна найменшою мірою відрізнятися від свіжих плодів і ягід, (власне, це і є основним критерієм досконалості технології заморожування), у пропонованій статті вперше подано характеристику і сировини, і отриманих з неї заморожених напівфабрикатів.

Оскільки йдеться про заморожування цілих плодів і ягід, то існуючий досі показник «консистенція» ми замінили на інший — «стан поверхні», оскільки саме станом поверхні об'єктів переважно визначається їхня здатність до холодових адаптацій, тривалого зберігання і мінімальних утрат клітинного соку при дефростації. Отримані результати наведено в табл. 1—3.

Таблиця 1. Характеристика основних органолептичних показників свіжих і заморожених плодів та ягід

Показник	Предмет дослідження — плоди та ягоди	Характеристика
1	2	3
Зовнішній вигляд	Свіжі	Чисті, свіжі, з плодоніжками (малина, ожина), без плодоніжок, однорідні за ступенем зрілості (без недозрілих та перезрілих), з наявністю воскового нальоту різного ступеня інтенсивності, відповідної форми
	Заморожені	Чисті, заморожені, з наявністю сизуватого нальоту, тургор пружний, не зім'яті, форма — збережена
Смак	Свіжі	Властивий певному виду, без стороннього смаку, смак — кислий, солодкий, терпкий, гіркуватий, пряний або їх комбінації
	Заморожені	Властивий певному виду, без стороннього смаку, смак — кислий, солодкий, терпкий, гіркуватий, пряний або їх комбінації; внаслідок холодowego стресу смак може дещо змінюватись
Колір	Свіжі	Властивий певному виду, відповідає з'ємній зрілості, інтенсивність кольору є маркером зрілості
	Заморожені	Властивий певному виду, відповідає з'ємній зрілості, інтенсивність кольору є маркером зрілості; відсутнє відхилення від природного кольору; можливе посилення інтенсивності кольору за рахунок синтезу антоціанів як реакції плоду на холодний стрес
Стан поверхні	Свіжі	Суха, чиста, без захворювань та ушкоджень шкідниками, без ознак в'янення; залежно від помологічного сорту може бути зволожена; з'ємної зрілості та забарвлення; покривна тканина щільна
	Заморожені	Чиста, дещо зволожена, з природним тургором, без ушкоджень шкірного покриву, з'ємної зрілості та забарвлення, без утрат клітинного соку

Продовження таблиці 1

1	2	3
Аромат	Свіжі	Властивий певному виду (слабкий, сильний, тонкий, ніжний)
	Заморожені	Властивий певному виду (слабкий, сильний, тонкий, ніжний); може посилюватись у результаті холодового стресу

Наведені органолептичні показники свіжих плодів і ягід було оцінено за розробленою 5-бальною шкалою (табл. 2).

Таблиця 2. Бальна оцінка органолептичних показників

Показник	Співвідношення характеристики і кількості балів				
	5	4	3	2	1
Зовнішній вигляд	Чисті, свіжі, без дефектів та мікробіологічних ушкоджень, однорідні	Чисті, свіжі, без дефектів та ушкоджень, до 5% недозрілих	Чисті, свіжі, без дефектів та ушкоджень, до 7% недозрілих або перезрілих	Дещо прив'ялі, неоднорідні за формою, понад 10% некондиційних	Прив'ялі, неоднорідні, з дефектами та мікробіологічними ушкодженнями
Смак	Відсутність стороннього присмаку; ознаки, характерні для даного виду	Ледь помітний сторонній присмак	Стійкий помітний сторонній присмак	Стійкий виражений сторонній присмак, невластивий для даного виду	Неприємний сторонній присмак продукту, що псується
Колір	Характерний для даного виду зрілого матеріалу, інтенсивний, насичений	Відповідає даному виду, дещо менш інтенсивний	Інтенсивність кольору знижена за рахунок розпаду антоціанів	Переходить від натурального до бурого-коричневого	Тьмянний, темно-коричневий, неприємний
Стан поверхні	Чиста, без дефектів та ушкоджень, без тріщин і плям, глянцева або матова	Чиста, без дефектів та ушкоджень, без тріщин і плям, зниженої матовості або глянцевості	Має незначні ушкодження, деякі ознаки псування (поява плям, тріщин), тьмяність	Значні ушкодження шкідниками, плямистість, тріщини	Дефекти, тріщини, ознаки негативних біохімічних процесів
Аромат	Відсутність стороннього запаху, аромат властивий певному виду, насичений, яскраво виражений	Поява ледь помітного стороннього запаху, аромат насичений, виражений	Стійкий сторонній запах, невластивий даному виду, при переважанні природного аромату	Виражений сторонній запах	Запах гнилі

Примітка: плоди та ягоди, які отримали оцінку «1» та «2» бали, не рекомендуються для заморожування.

Наведені в табл. 1 органолептичні показники заморожених плодів і ягід оцінено за розробленою 5-бальною шкалою (табл. 3).

Таблиця 3. Бальна оцінка органолептичних показників заморожених плодів та ягід

Показник	Співвідношення характеристики і кількості балів				
	5	4	3	2	1
Зовнішній вигляд	Чисті, заморожені, з сизуватим нальотом, тургор пружний, цілісність покриву не порушена, форма збережена	Чисті, рівномірно заморожені, тургор пружний, прим'яті не більше 2—3%	Чисті, рівномірно заморожені, деяка частина матеріалу (до 5%) деформована	Сизо-бурий наліт, значна деформація та порушення цілісності	Більшість об'єктів деформовані, наявні мікробіологічні ушкодження
Смак	Відсутність стороннього присмаку, смак ідентичний свіжим об'єктам	Найявний ледь помітний сторонній присмак як результат холодового стресу	Сторонній присмак більш інтенсивний	Виражений сторонній присмак з появою гіркового післясмаку	Різкий неприємний сторонній смак
Колір	Інтенсивний, насичений, відповідає з'ємній зрілості, можливе посилення інтенсивності за рахунок синтезу антоціанів при холодовому стресі	Відповідає даному помологічному сорту, насичений, можливе легке знебарвлення	Знебарвлення більш виражене, можливе незначне побуріння верхнього шару	Істотне знебарвлення, втрата природного кольору, об'єкти набрали бурого забарвлення	Побуріння значної частини плодів і ягід, колір неприємний
Стан поверхні	Без дефектів та ушкоджень кристалами льоду, без тріщин, без утрат клітинного соку, без зміни форми плодів та ягід	Без дефектів та ушкоджень, незначні тріщини без утрат клітинного соку	Дещо змінена форма, трапляються прим'яті екземпляри (до 5%), незначні тріщини	Ступінь деформації вищий, прим'яті екземплярів до 10%; форма значно змінена	Деформованих плодів і ягід понад 10%, решта мають ушкодження поверхні
Аромат	Властивий свіжим плодам і ягодам; може посилюватись у результаті синтезу ароматоутворюючих сполук під впливом холодового стресу; без сторонніх запахів	Натуральний, без сторонніх запахів; може дещо ослаблюватись	Помітний сторонній запах з одночасним ослабленням натурального аромату	Слабкий натуральний аромат з переважанням стороннього запаху	Досить виражений сторонній запах, як результат негативних ферментативних процесів

Примітка: заморожені плоди і ягоди, які оцінено в 3 бали, придатні до нетривалого зберігання (1 місяць), а ті, які отримали 1 і 2 бали, непридатні до зберігання і повинні направлятись на перероблення.

Наведені в таблицях результати дають підстави стверджувати, що для заморожування необхідно використовувати, з точки зору органолептичних характеристик, лише здорові, без механічних та мікробіологічних ушкоджень, плоди та ягоди, однорідного складу, з відповідним смаком, кольором, станом поверхні та ароматом, з'ємної зрілості, зі щільною покривною тканиною. За запропонованою нами шкалою бальної оцінки цим вимогам відповідають плоди та ягоди, що отримали оцінку від 3 до 5 балів.

Такі вимоги до сировини важливі з точки зору її подальшого перероблення, яке передбачає вплив низьких температур, можливість руйнування структури утвореними кристалами льоду, процесів, які проходять при зберіганні заморожених плодів та ягід і дефростації.

Плоди та ягоди з оцінкою в 1 та 2 бали, особливо коли йдеться про заморожування їх у цілому вигляді, не можуть бути використані. Кожен ушкоджений і уражений об'єкт не лише погіршує якість готової продукції, є небезпечним із точки зору мікробіологічного забруднення, а й підвищує трудомісткість підготовчих операцій; збільшення відходів знижує вихід готової продукції та підвищує її собівартість.

Не меншої уваги потребує характеристика замороженої сировини. Плоди і ягоди мають бути здоровими, за ароматом і смаком ідентичними свіжим матеріалам (до речі, під впливом холодового стресу інтенсивність обох цих показників може посилюватись), неушкодженими, недеформованими. Саме це забезпечує їхню здатність до тривалого зберігання. До такої категорії ми віднесли об'єкти з оцінкою в 4 і 5 балів. Оцінка в 3 бали гарантує належну якість продукції при нетривалому (до 1 місяця) зберіганні; оцінка в 1 та 2 бали свідчить про непридатність такої продукції до зберігання, і її необхідно направляти на перероблення — отримання соків, компотів, пюре тощо.

Результати виконаних досліджень дають підставу вперше сформулювати науково обґрунтовані критерії вибору плодово-ягідних культур, найбільш придатних до заморожування (табл. 4), з гарантованою якістю отриманих напівфабрикатів, належними органолептичними показниками та підвищеною біологічною цінністю.

Таблиця 4. Основні критерії вибору плодово-ягідних культур, придатних для заморожування

Критерій 1	Характеристика критерію 2
Комплекс біологічно активних речовин плодів та ягід	Повнота харчової та біологічної цінності сировини і готової продукції для задоволення нутритивних потреб організму людини впродовж року
Глюкоацидометричний індекс	Співвідношення цукрів та органічних кислот при оптимальному його значенні 6...7:1
Кореляція між вмістом аскорбінової кислоти і біофлавоноїдів	Найбільший ефект аскорбінової кислоти виявляється при спільній дії з біофлавоноїдами
Наявність каротиноїдів	Свідчення антиоксидантних, онкопротекторних, загальнозміцнювальних властивостей

Продовження таблиці 4

1	2
Вміст природних кріопротекторів	Високий вміст цукрів з переважаючою концентрацією глюкози та фруктози як стабілізаторів внутрішньоклітинних структур при заморожуванні
Здатність біокомпонентів до холодової адаптації	Протидія кріоушкодженню, збереження якісних та органолептичних показників заморожених і дефростованих напівфабрикатів
Тип покривної тканини плодів та ягід	Збереження цілісності поверхні при заморожуванні, зберіганні та дефростації напівфабрикатів
Органолептичні показники — мінімальна розбіжність між свіжими, замороженими та дефростованими об'єктами	Зовнішній вигляд, колір, аромат, смак, консистенція плодів та ягід після дефростації як візуальна характеристика їх споживчих властивостей, перспектива реалізації на внутрішньому і зовнішньому ринках

Висновки

Як і будь-яка прикладна галузь знань, холодинська технологія харчових продуктів виникла і стрімко розвивається відповідно до практичних запитів — ефективного консервування сезонної сільськогосподарської сировини з мінімальними втратами цінних БАР як після її заморожування, так і в процесі зберігання. Заморожені плодово-ягідні напівфабрикати за відсутності свіжої сировини є повноцінним джерелом вітамінів-антиоксидантів, вітаміноподібних сполук, мінеральних елементів тощо, які нормалізують функціонування всіх органів та систем організму людини.

Для заморожування необхідно використовувати, з точки зору органолептичних характеристик, лише здорові, без механічних і мікробіологічних ушкоджень, плоди та ягоди, однорідного складу, з відповідним смаком, кольором, станом поверхні та ароматом, з'ємної зрілості. За запропонованою у статті шкалою бальної оцінки цим вимогам відповідають плоди та ягоди, що отримали оцінку від 3 до 5 балів.

Такі вимоги до сировини важливі з точки зору її подальшого перероблення, яке передбачає вплив низьких температур; можливість руйнування структури утвореними кристалами льоду; змін, які проходять при зберіганні заморожених плодів та ягід і дефростації.

Плоди та ягоди з оцінкою в 1 та 2 бали, особливо коли йдеться про заморожування їх у цілому вигляді, не можуть бути використані. Кожен ушкоджений і уражений об'єкт не лише погіршує якість готової продукції, є небезпечним із точки зору мікробіологічного забруднення, а й підвищує трудомісткість підготовчих операцій; збільшення відходів знижує вихід готової продукції та підвищує її собівартість.

Не меншої уваги потребує характеристика замороженої сировини. Плоди і ягоди мають бути здоровими, за ароматом і смаком ідентичними свіжим матеріалам (до речі, під впливом холодового стресу інтенсивність обох цих показників може посилюватись, що є позитивним чинником), неушкодженими, недеформованими. Саме це забезпечує їхню здатність до тривалого зберігання. До такої категорії ми віднесли об'єкти з оцінкою в 4 і 5 балів.

Номенклатура регламентованих документами показників оцінки плодів і ягід орієнтована передусім на їхні органолептичні властивості. Більш розширене, науково обґрунтоване трактування основних органолептичних характеристик свіжих плодів і ягід, їх зіставлення з аналогічними показниками заморожених напівфабрикатів, а також удосконалені 5-бальні шкали оцінювання цих характеристик надають можливість довершити існуючі методи сенсорного аналізу при виборі сировини для заморожування, а отже, гарантовано забезпечити високу якість замороженої продукції при зберіганні та дефростації, що безпосередньо пов'язано з новим введеним показником — станом поверхні плодів та ягід. Запропоновані критерії надають можливість науковцям та виробникам у практичних умовах об'єктивно оцінити наявну сировину на її придатність до заморожування, зробити правильний відбір її відповідно до бальної системи, і плоди та ягоди, непридатні до заморожування, рекомендувати до перероблення іншим способом.

Література

- Сімахіна, Г. О. (2018). Основні показники придатності плодів та ягід до заморожування. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*, 29(1), 73—77.
- Гельфанд, С. Ю., Дьяконова, Э. В., Медведева, Т. Н. (1990). *Справочник работника лаборатории консервного завода*. Москва: Агропромиздат.
- Сімахіна, Г. О., Науменко, Р. Ю. (2018). Модифікація харчових продуктів: багатоваріантність підходів та пріоритети. *Наукові праці НУХТ*, 24(6), 232—240.
- Богданова, О. А., Домбровська, О. П. (2018). Використання нетрадиційної сировини для тарного картону в харчовій промисловості. *Матеріали VII Міжн. спец. наук.-практ. конф. «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції»*, 13 вересня 2018 р. Київ: НУХТ.
- Сімахіна, Г. О., Науменко, Н. В. (2011). *Низькі температури у технологіях оздоровчих продуктів*: монографія. Київ: Сталь.
- Волова, И. Т. (2006) Передовые технологии замораживания продуктов питания. *Мясные технологии*, 6, 16—17.
- Белінська, С. О. (2009). Наукові й практичні засади розроблення рецептур і формування якості швидкозаморожених плодовоовочевих продуктів. *Харчова й переробна промисловість*, 11—12, 26—28.
- Петрова, В. П. (1987). *Дикорастущие плоды и ягоды*. Москва: Лесная промышленность.
- Українець, А. І., Сімахіна, Г. О., Стеценко, Н. О., Науменко, Н. В., Кочубей-Литвиненко, О. В. (2017) *Нові продукти для раціонів військовослужбовців*: монографія. Київ: Сталь.
- Цапалова, Э. И. и др. (2005). *Экспертиза дикорастущих растений*. Киев: А. С. К.
- Заморська, І. Л. (2018). *Теоретичне обґрунтування і розроблення технологій зберігання та консервування ягід суниці садової*: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.03. Київ.
- Українець, А. І., Сімахіна, Г. О., Науменко, Н. В., Камінська, С. В. (2019). *Заморожені плодово-ягідні напівфабрикати: якість, ефективність, безпека*: монографія. Київ: Видавництво «Сталь».

APPLICATION OF THERMOVINIFICATION PROCESS IN THE PRODUCTION OF RED DRY WINES OF TYPE “RESERVE”

V. Marinchenko, I. Babich, E. Osmanova

National University of Food Technologies

L. Marynchenko

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Key words:

Cabernet Sauvignon

Merlot

Reserve red wines

Thermovinification

Oak barrels

Fermentation

Pigeage

Article history:

Received 03.05.2021

Received in revised form

19.05.2021

Accepted 26.05.2021

Corresponding author:

L. Marynchenko

E-mail:

lolitamar@ukr.net

ABSTRACT

The work is devoted to the study of the possibility of improving the technology of red varietal wine materials of high quality of type “Reserve” with the use of oak vinifiers for the fermentation of wort on the pomace with the reception of thermovinification.

Red grape varieties grown in the Odessa region — Cabernet Sauvignon and Merlot were used as the materials for research. These grape varieties are widely used in Ukraine and abroad.

Technological properties and qualitative characteristics of grape varieties, in turn, depend on ecological and agrotechnical factors. The same variety in different soil and climatic conditions can give wines that differ in type and quality. In Ukraine, the law stipulates that the status of wines under Appellation of Controlled Origin (AOC) is granted to the best wines, the production of which is provided with a constant raw material base and is of high quality for at least 5 years from obtaining. All stages of production of wines of this category must be carried out at an enterprise located in a strictly regulated geographical location of grapes.

Red wine materials of high quality of type “Reserve” from Cabernet Sauvignon and Merlot grapes grown in Odessa region, obtained by technological methods, such as the use of thermovinification, fermentation in oak barrels without removing the pomace and adding the drug “Tiazot”.

The technological scheme for the production of red wines was improved, which stipulated that after thermovinification for the fermentation of the wort, the pomace was not removed, but was left in the vinifier and the fermentation continued together with the muscle. After tasting the obtained wine materials on the basis of organoleptic characteristics of red wine materials, it was found that the duration of contact of the wort with the pomace enhanced the color of the wine material and the richness of aroma.

The application of such a technological scheme will make it possible to obtain the high quality terroir red wines from Cabernet Sauvignon and Merlot grapes grown in Odessa region.

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕРМОВІНІФІКАЦІЇ У ВИРОБНИЦТВІ ЧЕРВОНИХ СУХИХ ВИН ТИПУ «РЕЗЕРВ»

В. О. Маринченко, І. М. Бабич, Е. Ш. Османова

Національний університет харчових технологій

Л. В. Маринченко

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

У статті досліджено можливості вдосконалення технології червоних сортних виноматеріалів підвищеної якості типу «резерв» із застосуванням дубових вініфікаторів для бродіння суслу на м'яззі з прийомом термовініфікації.

Матеріалами досліджень були червоні сорти винограду, вирощені на теренах Одеської області, — Каберне-Совіньйон і Мерло. Ці сорти винограду широко використовуються у нашій країні і поза її межами.

Технологічні властивості й якісні характеристики сортів винограду, у свою чергу, залежать від екологічного й агротехнічного факторів. Один і той самий сорт у різних ґрунтово-кліматичних умовах може давати вина, що розрізняються як за типом, так і за якістю. В Україні законодавчо встановлено, що статус вин контрольованих найменувань за походженням (КНП) надається кращим винам, виготовлення яких забезпечено стійкою сировинною базою і які мають високу якість протягом не менше 5 років від випуску. Всі стадії виробництва вин цієї категорії повинні здійснюватися на підприємстві, розташованому в строго регламентованому географічному місці вирощування винограду.

Із сортів винограду Каберне-Совіньйон і Мерло, вирощених на Одещині, за допомогою технологічних прийомів, таких як застосування термовініфікації, доброджування в дубових чанах без знімання м'язги та додавання препарату Thiazote, отримано червоні виноматеріали типу «резерв».

Удосконалено технологічну схему виробництва червоних вин, яка передбачає, що після термовініфікації для доброджування суслу м'язгу не знімають, а далі залишають у вініфікаторі і продовжують доброджування разом з м'язгою. Після дегустації одержаних виноматеріалів на основі органолептичних характеристик червоних виноматеріалів було встановлено, що тривалість контакту суслу з м'язгою підсилює колір виноматеріалу і насиченість аромату.

Застосування такої технологічної схеми дасть змогу отримати з винограду сортів Каберне-Совіньйон, Мерло, вирощених в умовах Одещини, виноматеріали типу «резерв» для створення якісних теруарних вин.

Ключові слова: Каберне-Совіньйон, Мерло, червоні вина типу «резерв», термовініфікація, дубова тара, доброджування, піжаж.

Постановка проблеми. Культура споживання алкогольних напоїв певною мірою може визначати зрілість розвитку суспільства. Тому тенденції енологічного

туризму, розповсюдження послуг професійних сомельє, фестивалі вина та інші заходи, безумовно, сприяють галузі виробництва виноградарства та виноробства в Україні (Антоненко та ін., 2017). Останнім часом відзначається зацікавленість населення у якісних винах, зокрема зростає попит на червоні сортові вина.

Отже, підвищення якості українських теруарних вин, притаманних цій території вирощування винограду та виробництва вина, є, безумовно, фактором розвитку такого регіону. Для досягнення високої якості таких вин та одержання відповідного статусу в Україні за Положенням про вина контрольованих найменувань за походженням (КНП) необхідно, щоб якість вина підтримувалась протягом принаймні п'яти років на конкретному підприємстві саме цього регіону. Відповідно, технологія таких вин з певного сорту винограду має забезпечувати стабільність якості за будь-яких погодних умов, хоча існують також норми та режими виробництва, від яких винороб не має відхилятися у технологічному процесі.

Існують декілька способів виробництва червоних сухих виноматеріалів: бродіння з плаваючою, зануреною шапкою; вуглекислотна мацерація; термовініфікація тощо (Валушко та ін., 1987). Кожний із цих технологічних способів не може бути уніфікований, отже, актуальним є дослідження їх застосовування у сортовій технології виробництва вина для конкретної зони вирощування винограду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Червоні вина мають високу біологічну активність, у них містяться вітаміни, ферменти, мінеральні та інші речовини, корисні для організму. В натуральних червоних виноградних винах наявні біологічно активні речовини, які пом'якшують негативну дію етанолу на організм, отже, за певних умов (споживання у помірних кількостях) можна навіть стверджувати про корисність такого якісного продукту для організму (Сабадаш-ка, 2014; Snorek та ін., 2018; Lecour & Lamont, 2011).

Його складові компоненти беруть участь в обміні речовин і сприяють процесу травлення. Значення рН шлункового соку близьке до рН вина, тому вино полегшує роботу шлунку в разі недостатньої кислотності шлункового соку. Відомо, що помірне споживання легких сухих, зокрема червоних, вин знижує ризик серцево-судинних захворювань на 25—45%, а ризик інсульту — до 50%. На думку французьких вчених, кардіопротекторний ефект виноградних вин пов'язаний з такими біологічно активними речовинами, як фенольні сполуки, мінеральні компоненти та гліцерин (Balea та ін., 2018).

Походження і якість вина обов'язково контролюються на всіх етапах виробництва сировини та готової продукції і визначаються контрольованими факторами: природними факторами (клімат, рельєф, ґрунт, сорт (сорт) винограду) та факторами антропогенного впливу (система агротехніки, технології переробки винограду тощо).

Якість виноградних вин залежить від сорту винограду, ґрунтово-кліматичних умов вирощування, комплексу агротехнічних прийомів і технології виробництва вина (Vinci та ін., 2008). Тип вина, означений як «резерв», передбачає підвищену якість продукту, що може свідчити про мінімальний термін витримання (від 36 до 62 місяців), зокрема в дубових бочках (від 12 до 18 місяців), але така регламентація характерна лише для Іспанії та Італії. Для інших виробників тип «резерв» —

визначення технолога або маркетинговий хід, який вирізняє таке вино серед інших ординарних продуктів (Бабич та ін., 2014).

Мета дослідження: удосконалення технології червоних сортових виноматеріалів підвищеної якості типу «резерв» із застосуванням дубових чанів для бродіння суслу на м'яззі (з «плаваючою» шапкою) з прийомом термовініфікації.

Матеріали і методи. Для досліджень були обрані червоні сорти винограду Каберне-Совіньйон та Мерло, з яких отримано червоні виноматеріали типу «резерв».

Каберне Совіньйон (Cabernet Sauvignon) — найбільш відомий червоний сорт винограду (Robinson & Harding, 2015). Його батьківщиною вважається французький регіон Бордо. З цього сорту виробляють насичені, щільні, міцні вина, які потребують довгої витримки. Класичними ароматами для Каберне є нотки чорної смородини, шоколаду, олівцевого грифеля, чорносливу, кави й тютюну. Сорт є однією з основних складових так званого бордоського бленда. Ягоди цього сорту невеликі — близько 1,5 см, грона мають циліндричну або конічну форму розміром до 8—15 см.

Мерло (Merlot, від фр. «merle» — «Чорний дрізд») — французький технічний сорт винограду, відноситься до еколого-географічної групи західноєвропейських сортів винограду, для яких характерні тони черешні, сливи, шоколаду і навіть какао та кави (Robinson, Harding & Vouillamoz, 2013). У молодому вині з Мерло переважають аромати ягід (ожини, черешні, малини), фіалки і дикої сливи або сливового варення. З віком з'являються аромати інжиру, шоколаду, відтінки прянощів (чорного перцю). Ягода — чорна, із соковитою м'якоттю та безбарвним соком, з рясним восковим нальотом, має округлу форму 12—14 мм, тонку шкірочку.

На якість вина вирішальний вплив має хімічний склад ягід, що залежить від якості кожного сорту (Hu та ін., 2015). Виноград для виробництва червоних вин типу «резерв» повинен мати не менше 180—220 г/дм³ цукру і титровану кислотність 6—9 г/дм³ (табл. 1).

Для отримання загальної оцінки винограду та виноматеріалу (на базі виробничої хімічної лабораторії заводу ТОВ «ПТК «Шабо») визначали органолептичні (дегустаційна оцінка) та фізико-хімічні показники: масову концентрацію цукрів у винограді (рефрактометрично), масову концентрацію цукрів (за методом Бертра-на), масову концентрацію титрованих кислот у столовому виноматеріалі (методом прямого титрування), масову концентрацію летких кислот (на каліброваному приладі VELP.Scientifica), водневий показник (pH) (потенціометричним методом), об'ємну частку етилового спирту (за допомогою занурювального рефрактометра), вміст азоту у виноградному суслі (титруванням метиленових похідних лугом після взаємодії аміних груп з формальдегідом), масову концентрацію фенольних речовин (колориметричним методом), масову концентрацію вільної та зв'язаної сірчистої кислот (йодометричним титруванням), активність яблучно-молочних бактерій у дубових бочках (на мультифункціональному апараті визначення біохімічних показників Global 240).

Таблиця 1. Технологічна характеристика досліджуваних сортів винограду

Назва сорту	Період дозрівання	Кондиції зрілого винограду		Напрямок використання
		Масова концентрація цукрів, г/дм ³	Масова концентрація титрованих кислот, г/дм ³	
Каберне-Совіньйон	Середній — пізній період	180—200	5—9	Столові тихі вина, марочні столові вина, десертні та кріплені вина
Мерло	Середній — пізній період	190—220	5—8	Столові тихі вина, марочні столові вина, десертні вина

Як допоміжні матеріали використовували дріжджі Zymaflore FX10 (стійкість до підвищеної температури), діоксид сірки (пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів, зменшення дії окисних ферментів і запобігання окисненню), Superstart® Rouge (активатор дріжджів з високим вмістом ергостеролу, дріжджовий автолізат), Oenocell® (клітинні стінки, адсорбційна здатність), Extralyse® (пектиназа та бета-глюконаза для фільтрування та витримування на осаді), Thiazote® (азотне живлення), Lalvsn VP41 (бактеріальний препарат для яблучно-молочного бродиння).

Викладення основних результатів дослідження. У дослідженні було визначено вплив термовініфікації у разі переробки винограду сорту Каберне-Совіньйон і Мерло на фізико-хімічні та органолептичні показники вина типу «резерв». Прийом термовініфікації забезпечує високу економічну ефективність, потоковість технологічного процесу з повною механізацією та автоматизацією операцій, інактивацію шкідливих мікроорганізмів, зменшення доз сульфатації (доза діоксиду сірки при сульфатації суслу і виноматеріалу для забезпечення бажаної кількості вільного діоксиду сірки): для забезпечення біологічної стабільності вин активна фракція повинна становити не менше 1—3 г/дм³) і високу якість одержуваних червоних вин типу «резерв».

Термовініфікація — це сучасний, найбільш досконалий спосіб виробництва червоних вин. Включає два терміни: *termo* і *vinification*, що означає «виноробство з нагріванням».

Термовініфікація забезпечує більшу гнучкість технології. По-перше, процеси екстрагування і бродиння відбуваються одночасно, адже зброджується забарвлене сусло з м'язгою. По-друге, можна регулювати температурний режим, якщо необхідно, успішно переробляти виноград, частково уражений цвілью, що неможливо здійснити у разі класичного бродиння м'язги. По-третє, для цього способу легко вирішується різноваріантність і потоковість технологічних процесів.

Підвищення температури під час екстрагування м'язги сприяє деградації клітинних стінок, збільшенню швидкості дифузії, прискоренню ферментативних і неферментативних реакцій. Швидкість переходу фенольних речовин з м'язги, зокрема з насіння, значно підвищується зі збільшенням температури.

Для зброджування використовують дубові чани. Їх особливі властивості та структура дуба створює оптимальні умови для дозрівання і правильного бродиння винних дріжджів. Дубильні речовини і таніни додають червоним винам незвичайний смак та аромат і насичений колір готового вина.

Під час бродиння сусла на м'яззі обов'язково проводять піжаж (м'яке занурення «шапки» в сусло). Піжаж забезпечує кращий контакт сусла з м'язгою і

дає змогу отримувати інтенсивно забарвлені та багаті танінами вина. Для цього шапку занурюють всередину чана три-чотири рази на день. Дубова тара французької фірми Taransaud дає змогу проводити бродіння м'язги з «плаваючою шапкою», а для екстракції барвних речовин шапку зрошують суслом і проводять процес піжажу за допомогою роботів-піжорів.

Бродіння триває до трьох тижнів. Під час процесу здійснюється суворий контроль температури бродіння $+24...+28^{\circ}\text{C}$ і мікробіологічного стану м'язги. Тривалість і параметри бродіння визначає винороб за дегустаційними характеристиками і вмістом залишкового цукру.

Перевагою дубових чанів є те, що одночасно виконуються дві функції: по-перше, це природні ємкості для бродіння, а по-друге, завдяки їм з'являються нові комплекси складних естерів, розвиваються особливі «бродильні аромати», які в сукупності з «первинними ароматами» (сортовими) формують у вині комплексний, багатий, збалансований ароматичний профіль.

Червоні вина, які зброджують у дубовій тарі (чани і бочки), проходять етап яблучно-молочного бродіння для зниження вмісту яблучної кислоти до нормативних показників 5 г/дм^3 . Воно може відбуватись спонтанно (за достатності молочнокислих бактерій у м'яззі) або його запускають паралельно, або відразу ж після завершення першого, спиртового бродіння, додаючи чисту культуру бактерій (препарат Lalvin VP41).

Вміст екстрактивних речовин у вині залежить від багатьох факторів. Зокрема, червоним винам притаманна більш висока екстрактивність, ніж білим — до 30 г/дм^3 . Доброджування сусла разом з м'язгою у дубовому чані збільшує тривалість контакту, що сприяє насиченості кольору та аромату виноматеріалу, тому цей технологічний прийом може мати позитивний вплив на якість готового продукту за умови виконання вимог нормативних документів.

У період бурхливого бродіння зброджується основна кількість цукру, помітно підвищується температура сусла, бурхливо виділяється CO_2 , а на поверхні з'являється піна. Інтенсивне бродіння триває 5—6 діб і вважається закінченим за значення залишкового цукру $2\text{—}3\text{ г/дм}^3$.

Тому наступним етапом було дослідження основних фізико-хімічних показників якості виноматеріалів в дубових чанах (табл. 2).

Таблиця 2. Основні фізико-хімічні показники якості виноматеріалів у дубових чанах

Назва показника якості	Виноматеріали		Вимоги ДСТУ/ТІ
	Каберне-Совіньйон	Мерло	
Об'ємна частка етилового спирту, %	12,6	12,8	9,5—14,0/10,0—14,0
Масова концентрація, г/дм^3 :			
- цукрів	1,60	1,57	$\leq 3,0$
- титрованих кислот	6,8	6,7	5,0—8,0/5,0—7,0
- летких кислот	0,36	0,3	не більше 1,0
- приведенного екстракту	16,2	16,1	$\geq 15,0/\geq 20,0$
- сірчистої кислоти (загальної/вільної), мг/дм^3	186/15	180/12	$\leq 200/20$

З даних табл. 2 видно, що фізико-хімічні показники якості червоних виноматеріалів типу «резерв», виготовлених з винограду в дубових чанах, відповідають вимогам ТІ та ДСТУ 4805:2007 «Виноматеріали оброблені. Загальні технічні умови» повною мірою.

Одним із факторів, що впливає на якість вин, є масова концентрація азоту, який є необхідним елементом для росту як винограду, так і для дріжджів, що зброджують сусло. Це один із основних елементів рослини, оскільки він є складовим амінокислот, нуклеїнових кислот, хлорофілу і гормонів росту. Азот — ключовий елемент для розуміння й управління технологією теруарних вин (притаманних певній території, на якій вирощують виноград) в умовах ґрунтів з високим вмістом цього елемента. Азот, засвоєваний корінням винограду, залежить, головним чином, від показника органічних речовин ґрунту та від його швидкості мінералізації. Головні параметри, від яких залежить вміст азоту, це кількість органічних речовин у ґрунті, співвідношення C/N органічних речовин; температура ґрунту; аерація (провітрювання) ґрунту; рН (кислотність) ґрунту; вміст води в ґрунті; мікрофлора ґрунту.

Надлишок азоту викликає інтенсивний ріст рослин, що, однак, може зашкодити якості винограду. Отже, концепція теруарних вин завжди передбачає вміння винороба враховувати природні фактори та керувати процесом створення вина залежно від властивостей сировини, що виросла за певних кліматичних і ґрунтових умов для отримання найкращого результату для вина цієї місцевості.

Весь цикл бродіння і подальшої обробки виноматеріалів супроводжується перетворенням в них азоту, обумовленим температурою й умовами аерації. Обробка виноматеріалів спрямована на зниження в них азотистих речовин, що підвищує їх стійкість до білкових помутнінь.

Зокрема, нагрівання м'язги, сусла і виноматеріалів (термовініфікація) дає змогу знизити вміст білкового та амінного азоту, надлишок якого може призводити до білкових помутнінь і негативно впливати на органолептичні показники та на зберігання вина. В результаті гідролізу білка і пептидів аміний азот знижується внаслідок цукроамінних реакцій, які супроводжуються утворенням різних ароматичних речовин і меланоїдинів. Це приводить до появи карамельних тонів і потемніння середовища. Отже, перетворення азотистих речовин, передусім амінокислот, позитивно впливає на колір, букет і смакові якості вина, багато в чому визначає стабільність вин до помутнінь.

Водночас, якщо в зброджуваному суслі міститься мало амінного азоту, то дріжджі погано розмножуються, не дають бажаного виходу спирту. Оскільки пропонується доброджування в дубових чанах без знімання м'язги, то було перевірено вплив додавання препарату Thiazote® після бродіння в три дубових чани з виноматеріалом сорту Каберне-Совіньйон та три дубових чани з виноматеріалом сорту Мерло (табл. 3).

Таблиця 3. Вміст амінного азоту у виноматеріалах у разі використання препарату Thiazote®

№ чана	Вміст амінного азоту, мг/дм ³
Каберне-Совіньйон	
1	156,8±0,5
2	159,6±0,5
3	162,4±0,5
Мерло	
4	159,6±0,5
5	151,2±0,5
6	154,0±0,5

На початку бродіння вміст засвоюваного азоту має знаходитись у межах 180—220 мг/дм³, що сприяє повному зброджуванню й успішному початку яблучно-молочного бродіння, необхідного для біологічного кислотопониження та покращення смаку (за рахунок перетворення яблучної кислоти на молочну).

Thiazote® — це препарат, в якому містяться амонійні солі та гідрофосфат тіаміну (вітаміну В₁), застосування якого дає змогу: інтенсифікувати розмноження дріжджів (для забезпечення їхньої життєздатності), прискорюючи таким чином бродіння; знизити вміст кетонових кислот (роль тіаміну), здатних зв'язувати SO₂.

Як видно з результатів (табл. 3), у разі застосування таких технологічних прийомів (термовініфікації, доброджування в дубових чанах без знімання м'язги та додавання препарату Thiazote®) обидва виноматеріали Каберне-Совіньйон і Мерло мали достатній вміст амінного азоту для доброджування та формування забарвлення, характерного для червоних вин, що має позитивний вплив на органолептичну (дегустаційну) оцінку.

Дійсно, дослідження органолептичних показників впливу схеми переробки винограду червоних сортів Каберне-Совіньйон та Мерло (врожаю 2016 та 2017 років) на отримання виноматеріалів підвищеної якості типу «резерв» із застосуванням дубових чанів для бродіння суслу на м'яззі (з «плаваючою» шапкою) з прийомом термовініфікації (табл. 4) дали змогу встановити, що тривалість контакту суслу з м'язгою підсилює колір виноматеріалу та насиченість аромату.

Таблиця 4. Органолептична оцінка отримання сортових виноматеріалів типу «резерв» за удосконаленої технології (за 2016 та 2017 роки)

Назва виноматеріалу	Органолептична оцінка					Середній бал
	Прозорість	Колір	Букет	Смак	Типовість	
2016 рік						
Каберне-Совіньйон	0,3	0,3	2,2	3,6	0,8	7,2
Мерло	0,3	0,4	2,1	3,7	0,8	7,3
2017 рік						
Каберне-Совіньйон	0,3	0,3	2,4	3,5	0,8	7,3
Мерло	0,3	0,4	2,4	4	0,8	7,9

Як видно з табл. 4, виноматеріал сорту Мерло за органолептичними показниками був дещо кращим, що свідчить про більшу відповідність цього сорту обраному типу червоного вина за смаковими й ароматичними показниками.

Висновки

Особливістю запропонованого способу зброджування та доброджування суслу в дубовому чані без відбору м'язги з прийомом термовініфікації є природний контакт суслу з м'язгою, в результаті чого у вино переходять барвні, фенольні, екстрактивні й ароматичні речовини шкірочки, насіння. Внаслідок підвищення в середовищі спирту і діоксиду вуглецю уповільнюється розмноження дріжджових клітин, тому азот витрачається тільки на підтримку життєздатності і виконання бродильної функції. На цьому заснований метод біологічного азотопониження,

що передбачає неодноразове проведення циклу зброджування і зупинки бродіння.

Використання термовініфікації забезпечує високу економічну ефективність, потоковість технологічного процесу з повною механізацією й автоматизацією процесів, інактивацію шкідливих мікроорганізмів, зменшення доз сульфатації і високу якість одержуваних червоних вин.

Література

Антоненко, І. Я., Бабич, І. М., Басюк, Д. І., Безпала, О. В., Божук, Т., Бондар, Н. П., Хорохоріна, В. (2017). *Винний та гастрономічний туризм: глобальні тренди та локальні практики*. Вінниця: ПП ТД «Едельвейс і К».

Бабич, І. М., Басюк, Д. І., Білько, М. В., Осіпова, Л. А., Піддубний, В. А., Руднєва, М. Г., Шиян, П. Л. (2014). *Актуальні проблеми управління виноградно-виноробним комплексом*. Нац. ун-т харч. технологій. Кам'янець-Подільський: Зволейко Д. Г.

Валуйко, Г. Г., Жуков, А. М., Садлаев, О. О., Тихонов, В. П., Киценко, В. В., Прусецкий, С. Б., Щепачев, Г. С. (1987). Установка для извлечения из мезги суслом красящих, ароматических и дубильных веществ (Авторське свідоцтво № SU 1308619 A1).

Гержикова, В. Г. (2009). *Методы теххимического контроля в виноделии*. Симферополь: Таврида, 2009.

Сабадашка, М., Гнатуш, А., Сибірна, Н. (2014). Якісний і кількісний склад поліфенолів у концентраті червоного сухого виноградного вина марки Каберне-Совіньйон. *Вісник Львівського університету. Сер.: Біологічна*, (65), 77—85.

Balea, Ș. S., Pârvu, A. E., Pop, N., Marín, F. Z., Pârvu, M. (2018). Polyphenolic compounds, antioxidant, and cardioprotective effects of pomace extracts from Fetească Neagră Cultivar. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2018.

Hu, B. R., Lu, J., Xu, W. B., Zhang, F. M. (2015). Comparative study on the changes of aroma components in the grape and dry red wine of Cabernet Sauvignon. *J. Anim. Plant Sci*, 25(Suppl 1), 240—246.

Lecour, S., T Lamont, K. (2011). Natural polyphenols and cardioprotection. *Mini reviews in medicinal chemistry*, 11(14), 1191—1199.

Robinson, J., Harding, J. (Eds.). (2015). *The Oxford companion to wine*. American Chemical Society.

Robinson, J., Harding, J., Vouillamoz, J. (2013). *Wine grapes: a complete guide to 1,368 vine varieties, including their origins and flavours*. Penguin UK.

Snopek, L., Mlcek, J., Sochorova, L., Baron, M., Hlavacova, I., Jurikova, T., Sochor, J. (2018). Contribution of red wine consumption to human health protection. *Molecules*, 23(7), 1684.

Vinci, G., Eramo, S. L. M., Nicoletti, I., Restuccia, D. (2008). Influence of environmental and technological parameters on phenolic composition in red wine. *J. Commod Sci Technol*, 47(1—4), 245—266.

**RESEARCH OF QUALITY AND OPTIMIZATION
OF COMPONENT COMPOSITION OF ENRICHED
CHEESE FILLING IN PROTEIN GLAZE****N. Popova, T. Mysiura***National University of Food Technologies*

Key words:

*Preparatory
Glazed cheese
Albuminous glaze
Jam from a sea-buckthorn
Lemon-gingery jam
Red huckleberry jam
Method of mathematically
statistical analysis
Plan of Sheffe*

Article history:

Received 05.05.2021
Received in revised form
12.05.2021
Accepted 24.05.2021

Corresponding author:

T. Mysiura

E-mail:

tarasmisyura@gmail.com

ABSTRACT

The article analyzes the raw materials and fillers, determines the composition of glazed cheese and considers the optimal ratio of components of glazed cheese to maximize the highest levels of vitamin C, β -carotene and organoleptic evaluation by mathematical and statistical analysis. Glazed cheese mass using sour milk cheese of 5% fat content was chosen as a basis. Three types of jam were studied as fillers, namely sea buckthorn jam, lemon-ginger jam and cranberry jam. Natural protein was chosen as the basis of the glaze. Descriptors were selected for sensory evaluation of glazed curds and each sample was evaluated according to the intensity of descriptors by a 5-point scale. For the final organoleptic evaluation, the profiles of taste and smell, consistency, color and appearance of glazed cheese with a filling in the form of a profilogram were constructed. The ratio of the components of glazed cheese with filling was determined to maximize the highest levels of vitamin C, β -carotene and organoleptic evaluation. All graphical tools of the STATISTICA system provide a possibility to choose the built-in analytical interactive method of the analysis and contain a wide range of programs. Based on the results of the experiments, the regions of factor space were constructed according to the regression complete cubic model, and the regression equation was obtained. With the joint solution of the multicriteria problem, a system of equations was constructed, the solution of which allowed to establish optimal parameters that will provide optimal values of vitamin C, β -carotene, titratable acidity and organoleptic evaluation. Based on the organoleptic evaluation and the obtained data of physicochemical analysis of the proposed samples of cheese with filling of different composition, the best sample was selected, containing lemon-ginger, cranberry and sea buckthorn jams in a certain ratio.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ЗБАГАЧЕНОЇ НАЧИНКИ СИРКА В БІЛКОВІЙ ГЛАЗУРІ

Н. В. Попова, Т. Г. Мисюра

Національний університет харчових технологій

У статті зроблено аналіз сировини та наповнювачів, визначено склад глазурованого сирка та розглянуто визначення оптимального співвідношення компонентів глазурованого сирка для максимального забезпечення найвищих показників вмісту вітаміну С, β -каротину та органолептичної оцінки методом математико-статистичного аналізу. Обрано за основу глазуровану сиркову масу з використанням сиру кисломолочного 5% жирності. Як наповнювачі досліджено три види джему (обліпиховий, лимонно-імбирний і брусничний). Основа глазури — натуральна білкова. Вибрано дескриптори для проведення сенсорної оцінки глазурованих сирків та оцінено кожен зразок за інтенсивністю дескрипторів за 5-бальною шкалою. Для остаточної органолептичної оцінки побудовано профілі смаку та запаху, консистенції, кольору та зовнішнього вигляду глазурованого сирка з начинкою у вигляді профілограм.

Визначено співвідношення компонентів глазурованого сирка з начинкою для максимального забезпечення найвищих показників вмісту вітаміну С, β -каротину та органолептичної оцінки. Всі графічні засоби системи STATISTICA забезпечують можливість вибору вбудованого аналітичного інтерактивного методу аналізу і містять великий набір програм. За підсумками проведених експериментів побудовано області факторного простору за регресійною повною кубічною моделлю, отримано рівняння регресії. При сумісному вирішенні багатокритеріальної задачі побудовано систему рівнянь. Це дало змогу встановити оптимальні параметри, що забезпечить оптимальні значення вмісту вітаміну С, β -каротину, титрованої кислотності та органолептичної оцінки. Виходячи з органолептичного оцінювання та отриманих даних фізико-хімічного аналізу запропонованих зразків сирка з начинкою різного складу обрано найкращий зразок, що містить лимонно-імбирний, брусничний та обліпиховий джеми в певному співвідношенні.

Ключові слова: збагачувач, глазурований сирок, білкова глазур, обліпиховий джем, лимонно-імбирний джем, брусничний джем, математико-статистичний метод, план Шеффе.

Постановка проблеми. Здоров'я може бути досягнуто і збережено тільки за умови повного задоволення фізіологічних потреб в енергії і харчових сполуках. Будь-яке відхилення від так званої «формули збалансованого харчування» призводить до певного порушення функцій організму, особливо якщо ці відхилення досить виражені і тривалі в часі.

Профілактичні й лікувальні властивості інгредієнтів молочних продуктів досі враховувалися недостатньо. І лише в останні десятиліття зусилля медиків і технологів спрямовано на обґрунтування, розроблення й виробництво нових кисломолочних продуктів, що не тільки задовольняють потреби людини в енергії,

поживних речовинах, а й чинять імуномодельючий, біорегуляторний, реабілітаційний та інші позитивні фізіологічні впливи на органи, системи й функції організму (Пилат, Белых & Волкова, 2013).

Глазуровані сирки є затребуваним у споживачів продуктом, який особливо користується попитом у дитячому харчуванні. Саме тому підвищення харчової цінності глазурованих сирків, надання їм корисних властивостей є доцільним у наш час як для споживачів, так і для виробників.

У літературі недостатньо інформації щодо рецептур і внесення збагачуваного компоненту у вигляді начинки до сирків. Розроблено лише описи стадій виробництва традиційних глазурованих сирків і варіації внесення плодово-ягідної сировини. Тому актуальним є обґрунтування та розроблення рецептури глазурованих сирків і вибору функціональних збагачувачів для їх начинки. В глазурованому сирку саме сирна маса становить основну частину десерту. У сирі міститься необхідний для кісткової тканини кальцій, вітаміни А, Е і С, а також вітаміни групи В, амінокислоти (лізин, триптофан, метіонін) і мікроелементи. Задля підвищення харчової та біологічної цінності глазурованих сирків до їх складу додають різноманітні наповнювачі та природні добавки. У цьому дослідженні як збагачувачі обрано обліпиховий і лимонно-імбирний джеми.

У різних науково-технічних галузях успішно застосовуються методи математичного планування експерименту, що істотно підвищує ефективність досліджень. Переважна більшість досліджуваних об'єктів відноситься до класу складних систем, що характеризується значною кількістю взаємозалежних параметрів. Завдання дослідження таких систем полягає у встановленні залежності між вхідними параметрами-факторами і вихідними параметрами-показниками якості функціонування системи (Зедгинидзе, 1976).

Отже, актуальним є використання рослинної сировини та продуктів її переробки як збагачувачів і визначення залежності властивостей глазурованих сирків від вмісту компонентів суміші з метою отримання максимального вмісту вітаміну С та β -каротину, таких корисних для організму дітей і дорослих. При цьому необхідно розглянути такі властивості багатокомпонентних систем, як функції складу, перехід до симплексної системи координат за допомогою діаграм. Для цього застосовуються симплекс-гратчасті плани Шеффе програми STATISTICA (Зедгинидзе, 1976).

Метою статті є дослідження якісних показників глазурованого сирка з подальшою оптимізацією компонентного складу начинки.

Матеріали і методи. Оцінювання органолептичних показників глазурованих сирків здійснено згідно з ДСТУ 4503:2005 «Вироби сиркові. Загальні технічні умови» [Чинний від 28.01.2006]. Визначення вмісту сухих речовин джемів — згідно з ГОСТ 28562-90. Масову частку жиру глазурованого сирка було визначено згідно з ГОСТ 5867-90. У дослідних пробах глазурованого сирка також визначено титровану кислотність згідно з ГОСТ 3624-92. Вміст вітаміну С у джемах та в сирку визначено згідно з ГОСТ 24556-89. Вміст каротину в пробі сирка визначено згідно з ДСТУ 4305:2004 «Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Метод визначення вмісту каротину» [Чинний від 28.05.2004].

Викладення основних результатів дослідження. При розробленні оптимальної рецептури глазурованого сирка з начинкою передусім було проаналізовано склад сировини як наповнювача. За основу начинки обрано три види джему.

Обліпиховий джем містить високий вміст вітаміну С, каротини і каротиноїди, ненасичені жирні кислоти Омега 3-6-9. Брусничний джем надає жарознижуючого, тонізуючого ефекту та приємних органолептичних властивостей готовому сирку. Лимонно-імбирний джем надає продукту приємного аромату та містить у своєму складі корисний для імунної системи вітамін С. Використання саме білкової глазури сприяє зниженню калорійності нового виду глазурованого сирка з начинкою.

Після цього було досліджено показники якості нового виду глазурованого сирка з підібраними співвідношеннями компонентів начинки:

- обліпиховий і брусничний джеми: 1) 1:1; 2) 1:0,6; 3) 0,6:1;
- обліпиховий і лимонно-імбирний джеми: 4) 1:1; 5) 1:0,6; 6) 0,6:1.

Перший етап передбачав проведення органолептичного оцінювання глазурованого сирка з використанням різних співвідношень джемів як наповнювачів. Для цього використано науково-розроблену балову шкалу.

Користуючись стандартом ДСТУ 4503:2005 «Вироби сиркові. Загальні технічні умови» щодо вимог до органолептичних показників, було вибрано дескриптори для проведення сенсорної оцінки глазурованих сирків та оцінено кожен зразок за інтенсивністю дескрипторів за 5-бальною шкалою. Для остаточної органолептичної оцінки побудовано профілі смаку й запаху, консистенції, кольору та зовнішнього вигляду глазурованого сирка з начинкою у вигляді пелюсткової діаграми (профілограми). Після чого розраховано органолептичну оцінку в балах.

Порівняльна органолептична оцінка готового продукту наведена в табл. 1.

Таблиця 1. Органолептичне оцінювання глазурованого сирка

Співвідношення джемів начинки	Назва показника				Органолептична оцінка, бали
	Консистенція	Смак і запах	Колір	Зовнішній вигляд	
1	2	3	4	5	6
1	Однорідна, ніжна, в міру щільна. Наявність часток застосованих наповнювачів	Характерний кисломолочний, в міру кисло-солодкий, з освіжаючим присмаком лимона	Білий, з помаранчево-рожевим кольором начинки	Мають форму прямокутного батончика. Білкова глазур рівномірно покрита по всій поверхні	45
2	Однорідна, ніжна, в міру щільна. Наявність часток застосованих наповнювачів	Характерний кисломолочний, в міру кисло-солодкий, з приємним гармонійним присмаком наповнювача	Білий, з рожево-помаранчевим кольором начинки	Мають форму прямокутного батончика. Білкова глазур рівномірно розподілена по всій поверхні	24

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
3	Однорідна, ніжна, в міру щільна. Наявність часток застосованих наповнювачів	Характерний кисломолочний, з кислим, яскраво вираженим присмаком лимона та імбиру	Білий, з рожевим кольором начинки	Мають форму прямокутного батончика. Білкова глазур рівномірно покрита по всій поверхні. Є нерівномірне покриття глазур'ю нижньої поверхні сирка	35
4	Однорідна, в міру щільна. Присутні частки наповнювачів	Характерний кисломолочний, в міру солодкий, з присмаком обліпихи та яблука	Білий, з помаранчевим кольором начинки	Мають форму прямокутного батончика. Білкова глазур рівномірно розподілена по всій поверхні окрім нижньої	17,5
5	Однорідна, в міру щільна. Присутні частки наповнювачів	Характерний кисломолочний, в міру солодкий, з приємним гармонійним присмаком обліпихи	Білий, з жовтуватопомаранчевим кольором начинки	Мають форму прямокутного батончика. Білкова глазур рівномірно розподілена по всій поверхні, окрім нижньої частини	30
6	Однорідна, в міру щільна. Присутні частки наповнювачів	Характерний кисломолочний, в міру солодкий, з присмаком яблука	Білий, з помаранчевим кольором начинки	Мають форму прямокутного батончика. Білкова глазур рівномірно розподілена по всій поверхні окрім нижньої	20

Статистична обробка результатів сенсорного аналізу проводиться за розрахунком середньоквадратичного відхилення S . Для остаточної органолептичної оцінки побудовано профілі смаку та запаху, консистенції, кольору та зовнішнього вигляду глазурованого сирка з начинкою у вигляді пелюсткової діаграми, які подано на рис. 1. Також розраховано органолептичну оцінку в балах за загальновідомою формулою розрахунку площі чотирикутника, який вийшов на пелюстковій діаграмі.

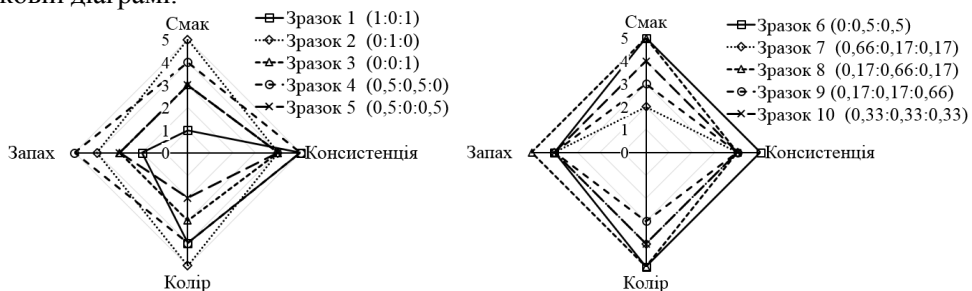


Рис. 1. Профілограми органолептичних показників зразків 1—10 різних співвідношень компонентів начинки

Наведені вище співвідношення уточнювались за допомогою програми *STATISTICA* (Зедгинидзе, 1976; Блохин, 2003). Для цього було проведено оцінку фізико-хімічних показників джемів (табл. 2) (Спирина & Матушкіна, 2015; Радаєва, Чесноков & Голуб, 2020).

Таблиця 2. Оцінка фізико-хімічних показників співвідношень начинки глазуrowаного сирка

№	Показник	Співвідношення джемів					
		Обліпиха: брусниця (1:1)	Обліпиха: брусниця (1:0,6)	Обліпиха: брусниця (0,6:1)	Обліпиха: лимон (1:1)	Обліпиха: лимон (1:0,6)	Обліпиха: лимон (0,6:1)
1	Титрована кислотність, %	2,10	1,92	1,86	1,78	1,52	1,95
2	Масова частка жиру, %	5,25	5,63	5,08	5,07	5,58	5,61
3	Масова частка вологи, %	44,19	44,97	45,02	45,01	44,78	44,97
4	Вміст сухих речовин джему, %	55,81	55,03	54,98	54,99	55,22	55,03
5	Вміст β -каротину, мкг/100 г продукту	41,44	64,45	35,2	40,53	46,87	32,08
6	Вміст вітаміну С, мг/100 г продукту	28,16	56,32	33,25	56,32	84,48	44,08

Наступним етапом узагальнення й аналізу зведеного матеріалу було виявлення характерних властивостей і закономірностей, а також взаємозалежностей факторних та результативних ознак готового сирка (Wilson Boulevard, 2011).

Також була побудована матриця планування гратчастого плану Шеффе — симплекс вершинний план третього степеня за допомогою програми *STATISTICA*. Слід зазначити, що основною метою реалізації матриці планування експериментів є визначення співвідношення вмісту компонентів начинки глазуrowаного сирка, що забезпечує максимально високий вміст вихідних речовин у складі.

Для трифакторного експерименту симплекс-вершинного плану була побудована матриця на десять експериментів. Для цього обрано три компоненти складу начинки x_1 , x_2 , x_3 (лимонно-імбирний, брусничний та обліпиховий джеми) та чотири вихідних параметри експерименту (вміст вітаміну С, β -каротину, титрована кислотність та органолептична оцінка — y_1 , y_2 , y_3 , y_4 відповідно) (табл. 3).

Таблиця 3. Матриця планування трифакторного експерименту симплекс-гратчастого плану

№	Лимонно-імбирний джем (x)	Брусничний джем (y)	Обліпиховий джем (z)	Вітамін С, мг (C)	β -каротин, мкг (B)	Титрована кислотність, % (T)	Органолептична оцінка (O)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0	0	22,53	0	1,34	17,5
2	0	1	0	12,3	4,8	0,169	40
3	0	0	1	90,11	113,02	0,201	21
4	0,5	0,5	0	25,41	2,56	1,89	40

1	2	3	4	5	6	7	8
5	0,5	0	0,5	56,32	40,53	1,84	17,5
6	0	0,5	0,5	33,25	41,44	1,54	45
7	0,66	0,17	0,17	32,26	27,36	1,65	20
8	0,17	0,66	0,17	27,22	33,76	1,53	45
9	0,17	0,17	0,66	65,36	82,4	1,62	24
10	0,33	0,33	0,33	41,25	53,92	1,45	32

За підсумками проведених експериментів побудовані області факторного простору по повній кубічній моделі залежності вмісту вітаміну С, β -каротину, титрованої кислотності та органолептичної оцінки (рис. 2, 3, 4, 5 відповідно).

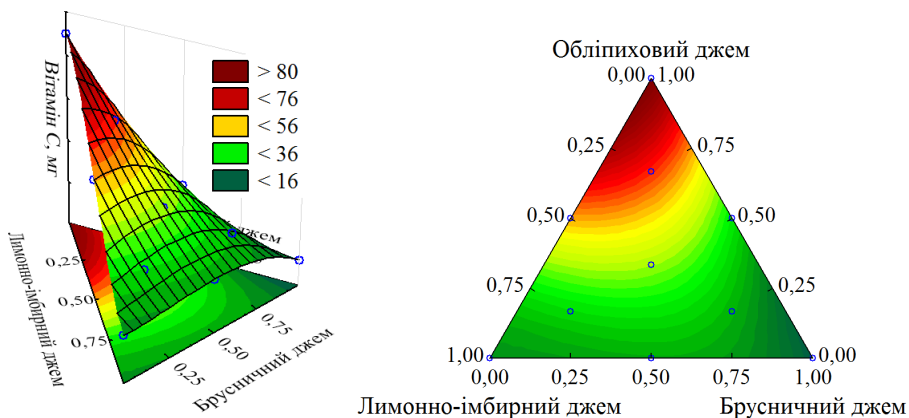


Рис. 2. Залежність вмісту вітаміну С від співвідношень джемів

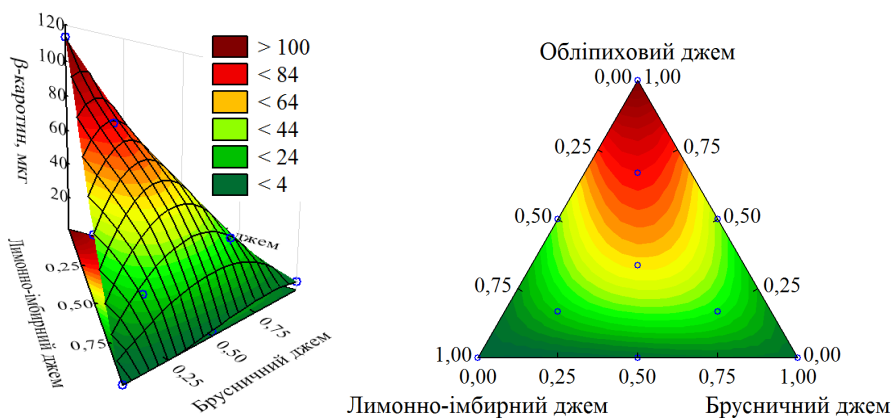


Рис. 3. Залежність вмісту β -каротину від співвідношень джемів

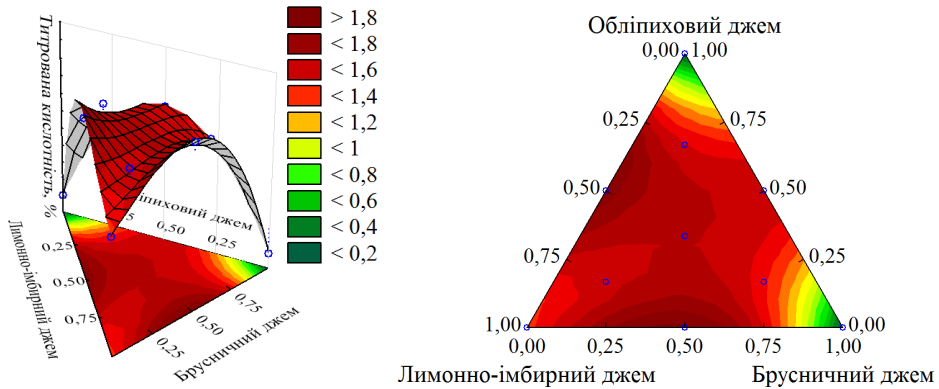


Рис. 4. Залежність вмісту титрованої кислотності від співвідношень джемів

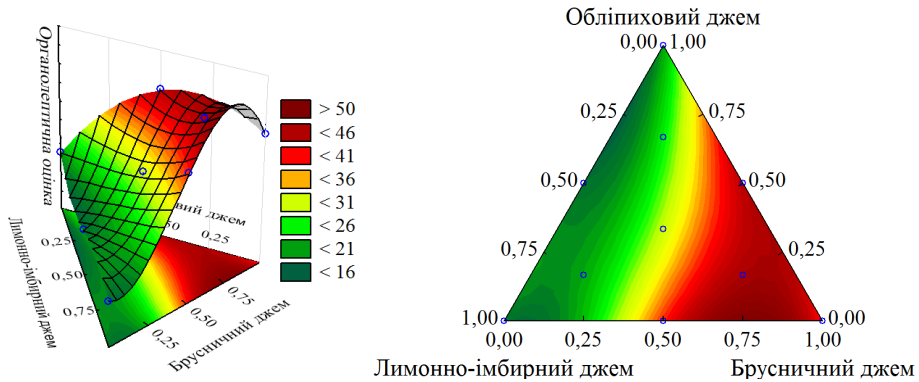


Рис. 5. Залежність органолептичної оцінки від співвідношень джемів

За допомогою рівнянь регресії повної кубічної моделі, які наведено відповідно на рис. 2, 3, 4, 5, математичним шляхом знайдено оптимальне співвідношення джемів для забезпечення максимальних вихідних параметрів.

Рівняння регресії для залежності вмісту вітаміну С, β -каротину, титрованої кислотності та органолептичної оцінки має такий вигляд:

$$C = 21,1x + 12,52y + 90,85z + 38,6xy + 7,66xz - 60,86yz.$$

$$B = -2,17x + 3,86y + 112,03z + 54,62xy - 8,85xz - 12,35yz.$$

$$T = 1,31x + 0,24y + 0,30z + 3,61xy + 3,34xz + 4,36yz.$$

$$O = 16,79x + 41,56y + 20,61z + 35,26xy - 20,65xz + 48,89yz.$$

При сумісному вирішенні багатокритеріальної задачі побудовано систему, вирішення якої дало змогу встановити такі оптимальні параметри: $x = 0,11$, $y = 0,35$, $z = 0,54$, що забезпечить оптимальні значення вмісту вітаміну С, β -каротину, титрованої кислотності та органолептичної оцінки відповідно: $C = 46$ мг, $B = 0,6$ мкг, $T = 1,552\%$, $O = 37$ балів.

$$\left\{ \begin{array}{l} x + y + z = 1; \\ x \geq 0; y \geq 0; z \geq 0; \\ C_{\min} \leq 21,1x + 12,52y + 90,85z + 38,6xy + 7,66xz - 60,86yz \leq C_{\max}; \\ B_{\min} \leq -2,17x + 3,86y + 112,03z + 54,62xy - 8,85xz - 12,35yz \leq B_{\max}; \\ T_{\min} \leq 1,31x + 0,24y + 0,30z + 3,61xy + 3,34xz + 4,36yz \leq T_{\max}; \\ O_{\min} \leq 16,79x + 41,56y + 20,61z + 35,26xy - 20,65xz + 48,89yz \leq O_{\max}, \end{array} \right.$$

З огляду на з органолептичне оцінювання й отримані дані фізико-хімічного аналізу запропонованих зразків сирка з начинкою різного складу, найкращим було обрано зразок, що містить лимонно-імбирний, брусничний та обліпиховий джеми в співвідношенні 0,11:0,35:0,54 відповідно.

Після визначення оптимального співвідношення компонентів розроблена нова рецептура глазуrowаного сирка з начинкою, яка має максимальний вміст вітаміну С, β-каротину, допустимі значення кислотності та приємні органолептичні властивості (табл. 4).

Таблиця 4. Рецептура нового виду глазуrowаного сирка і значення вихідних параметрів

Основа складова глазуrowаного сирка	Норма внесення, %	Вміст вітаміну С (мг) на 100 г продукту	Вміст β-каротину (мкг) на 100 г продукту	Титрована кислотність, % Т	Органолептична оцінка
Сир кисломолочний жирністю 5%	44,0	46	60,6	1,55	37
Масло вершкове, 73%	12,0				
Цукор білий кристалічний	9,0				
Обліпиховий джем	8,64				
Лимонно-імбирний джем	1,77				
Брусничний джем	5,59				
Білкова глазури	19,0				

Висновки

Визначено склад і зроблено аналіз сировини та наповнювачів глазуrowаного сирка.

Застосовано математико-статистичні методи аналізу з метою отримання рівнянь регресії та діаграм залежностей вмісту вихідних параметрів (вмісту вітаміну С, β-каротину, титрованої кислотності та органолептичної оцінки) від співвідношень джемів шляхом симплексної системи координат.

Математичним шляхом вирішено рівняння регресії оптимального співвідношення складу начинки для отримання максимального вмісту вихідних параметрів у готовому глазуrowаному сирку.

У результаті органолептичної оцінки та фізико-хімічного аналізу запропонованих зразків найкращим було обрано зразок сирка, що містить як начинку лимонно-імбирний, брусничний та обліпиховий джеми у співвідношенні 0,11:0,35:0,54 відповідно.

Розраховано рецептуру глазурованого сирка, що відноситься до групи низькокалорійних і збагачених продуктів, а вищезазначені наповнювачі здійснюють позитивний вплив на органолептичні показники, харчову та біологічну цінність продукту.

Література

Пилат, Т. Л., Белых, О. А., Волкова, О. А. (2013). Функциональные продукты питания: своевременная необходимость или общее заблуждение. *Пищевая промышленность*. 2, 33—39.

Зедгинидзе, И. Г. (1976). *Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем*. Москва: Наука.

Блохин А. В. (2003). *Теория эксперимента* [Электронный ресурс] Курс лекций в 2 ч. Ч. 1. Минск: центр «Электронная книга БГУ». Взято з: <http://anubis-bsu.by/publications/elresources/Chemistry/blohin1.pdf>.

Спирина, Т. В., Матушкина, Е. В. (2015). *Оценка качества глазированных сырков, реализуемых в розничной торговой сети*. Екатеринбург: Аграрное образование и наука. Уральский государственный аграрный университет.

Радаева, А. С., Чесноков, Д. А., Голуб, О. В. (2020). *Оценка качества сырков творожных глазированных, реализуемых в торговой розничной сети*. Сборник тезисов VIII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии». Под общей редакцией А. Ю. Просекова. Кемерово.

Wilson Boulevard (2011). *Cheese and lactose Products*. Published by U.S. Dairy Export Council 2101 / Suite 400 Arlington, VA U.S.A. 22201—3061.

PHYSICOCHEMICAL ASPECTS OF MOLECULAR GASTRONOMY

V. Shemet, O. Hulai, I. Moroz

Lutsk National Technical University

Key words:

Molecular gastronomy

Spherification

Espumization

Emulsification

Gelation

Aroma distillation

Article history:

Received 01.04.2021

Received in revised form
12.04.2021

Accepted 27.04.2021

Corresponding author:

V. Shemet

E-mail:

shemet5@i.ua

ABSTRACT

The article is devoted to the analysis of molecular gastronomy as an innovative direction of the food industry. The concept of molecular cuisine as a cooking technology was divided from the molecular gastronomy as a science, which is related to the study of physicochemical processes of transformation and interaction of individual ingredients in new qualities.

The main technologies were analyzed and systematized, physicochemical phenomena and accompanying processes were indicated. There were separated textures — special natural components used for spherification, gelation, emulsification, espumization, extraction, thickening, filtration, aroma distillation, Sous Vide technology, etc.

Most of the considered methods are based on the formation of kinetically unstable dispersed systems with liquid dispersed medium and liquid, gaseous or solid dispersed phase. The innovative methods of product processing use such types of colloidal systems as foam, solid foam, solid gel, emulsion, solid emulsion. The influence of factors, which define food structure, composition and density (temperature, viscosity, surface tension, pH) was determined. Most molecular dishes are low in calories, easily digestible, high in certain nutrients, can be used in the diet.

In conclusion, the use of molecular gastronomy techniques allows not only to change the form of presentation, but also to create new generations of food products. Changes in gastronomic paradigms determine the transformation of the educational process of students of specialty “Food Technology”. Conscious application of theoretical knowledge from various fields of chemistry, practical skills in research of substances, classical and innovative operations of food technologies will increase professional competence of future experts.

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ АСПЕКТИ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ГАСТРОНОМІЇ

В. Я. Шемет, О. І. Гулай, І. А. Мороз

Луцький національний технічний університет

Стаття присвячена аналізу молекулярної гастрономії як інноваційного напрямку харчової індустрії. Розділено поняття молекулярної кухні (кулінарії) як технології приготування страв і молекулярної гастрономії як науки, пов'язаної із вивченням фізико-хімічних процесів перетворення окремих інгредієнтів та їх взаємодії у нових якостях.

Проаналізовано й систематизовано основні технології, вказано фізико-хімічні явища та процеси, які їх супроводжують. Виокремлено текстури — спеціальні природні компоненти, що використовуються при здійсненні сферифікації, гелеутворення, емульгування, еспумізації, згущення, екстрагування, фільтрації, ароматистиляції, технології Sous Vide тощо.

В основі більшості розглянутих прийомів лежить процес утворення кінетично нестійких дисперсних систем із рідким дисперсним середовищем і рідкою, газоподібною або твердою дисперсною фазою. У новітніх способах переробки продуктів застосовують такі типи колоїдних систем, як піна, тверда піна, твердий гель, емульсія, тверда емульсія. Визначено вплив на текстуру їжі температури, в'язкості, поверхневого натягу, рН, які визначатимуть її структуру, склад і цільність. Більшість страв молекулярної кухні є низькокалорійними, легкозасвоюваними, з підвищеним вмістом окремих поживних речовин, можуть бути використані в дієтичному харчуванні.

Зроблено висновок, що використання прийомів молекулярної гастрономії надає можливість не лише змінювати форму подачі, а й створювати нові покоління харчових продуктів. Зміни гастрономічних парадигм зумовлюють трансформацію освітнього процесу здобувачів вищої освіти спеціальності «Харчові технології». Усвідомлене застосування теоретичних знань із різних розділів хімії, практичних навичок дослідження речовин, класичних та інноваційних операцій харчових технологій сприятиме формуванню професійної компетентності майбутніх фахівців.

Ключові слова: молекулярна гастрономія, сферифікація, еспумізація, емульгування, гелеутворення, ароматистиляція.

Постановка проблеми. Одним із найважливіших факторів, що визначає не тільки здоров'я людини, але й її психологічно-емоційний стан, є харчування. У процесі приготування їжі важливо найповніше зберегти первинні властивості харчових продуктів, їхню поживну, біологічну та енергетичну цінність, а також домогтися інноваційного презентування страв. Тому безперечною є актуальність молекулярної гастрономії — новітнього способу приготування страв із несподіваними смаками та незвичайною консистенцією завдяки використанню різноманітних технічних засобів та інструментів. У науковому аспекті цей інноваційний напрям харчової індустрії пов'язаний з вивченням фізико-хімічних процесів перетворення окремих інгредієнтів та їх взаємодії у нових якостях.

Індустрія харчових продуктів і технологій їх отримання зумовлює зміни в освітньому процесі здобувачів вищої освіти спеціальності «Харчові технології» (Гулай, Мороз & Шемет, 2020). Поєднання різносторонніх теоретичних знань із різних розділів хімії, практичних навичок дослідження речовин і класичних операцій харчових технологій є передумовою створення нових кулінарних шедеврів у царині молекулярної гастрономії. Тому розглянута тема є актуальною як з практичної, так із наукової точки зору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Молекулярна гастрономія існує вже кілька десятиліть і є не тільки модною тенденцією в кулінарії, але й наукою, що вивчає фізичні і хімічні зміни, які відбуваються з різними інгредієнтами під час приготування їжі. Основним її завданням є «...розробка абсолютно нових кулінарних страв і виробів зі зниженою масою, енергетичною цінністю та змодельованим хімічним складом спрямованої функціональної дії» (Дмитрик, 2009). Застосування спеціальних молекулярних технологій і природних компонентів (текстур) дає змогу змінити зовнішній вигляд страви, отримати нові властивості та закріпити бажаний результат чи форму: утворення сфер, піни чи желе. Завдяки насиченню й утриманню в структурі продукту повітря та вологи досягається зниження енергетичної цінності страви. Фізико-хімічні процеси, які відбуваються, не завдають шкоди здоров'ю людини, а страви зберігають смак і всі корисні елементи, що містяться у вихідних продуктах. Деякі приклади продуктів для молекулярної гастрономії – це мініатюрне яблуко, коктейлі в крижаних сферах, ікра з оливкової олії, прозорі равіоли, спагеті з овочів, морозиво швидкого приготування, бальзамічні перлини, медова ікра з желатином, шоколад, ікра еспресо тощо (Sivakumaran & Prabodhani, 2018).

Молекулярні технології активно досліджують зарубіжні вчені. Хімічні інгредієнти молекулярних страв систематизовано в огляді науковців університету Брістоля (Barham та ін., 2010). Зазвичай, використовують такі інгредієнти: заміники цукру, емульгатори (соевий лецитин, ксантанова камедь), стабілізатори, антипригарні речовини, ферменти (трансглютаміназа, пепсин), вуглекислий газ (для додавання бульбашок і отримання піни), гідроколоїди (крохмаль, желатин, пектин і природні камеді), желуючі агенти (метилцелюлоза, ксантанова камедь, агар і гелан).

У новітніх способах переробки продуктів застосовують такі типи колоїдних систем, як піна, тверда піна, твердий гель, емульсія, тверда емульсія. Детальний опис технік та обладнання наведено у праці (Hill, 2009).

Деякі страви на основі молекулярної гастрономії були названі на честь відомих хіміків або вчених (This, 2006). Наприклад, гіббс — це продукт, названий за іменем відомого фізика Джосії Вілларда Гіббса (1839—1903), отриманий шляхом збивання яєчного білка з олією та приготування білої емульсії в мікрохвильовій печі. Збитий білок з апельсиновим або журавлинним соком і цукром для збільшення в'язкості та стабілізації піни — це вокелен, нова страва, названа на честь Ніколаса Вокелена (1763—1829), одного з учителів Лавуазьє. Коагульоване яйце, приготоване без використання тепла, відоме як яйце Баме, увічне ім'я французького хіміка Антуана Баме (1728—1804).

У праці (Del Moral, 2020) узагальнено позиції багатьох вчених: більшість продуктів харчування — це складні різномірні молекулярні системи, поведінка яких

підлягає законам фізики більше, ніж багатьох інших матеріалів. З цієї причини основною якістю їжі в четвертій гастрономічній парадигмі є текстура, синергетична властивість складної м'якої їжі, на яку впливають температура, в'язкість і поверхневий натяг, а також їхня структура, склад і щільність.

В Україні молекулярна гастрономія як наука ще недостатньо розвинута, тому наше дослідження становитиме інтерес як для науковців-технологів, так і для викладачів закладів вищої освіти.

Мета дослідження: охарактеризувати основні технології молекулярної гастрономії, описати фізико-хімічні явища та процеси, які відбуваються під час виконання кожної з них.

Матеріали і методи. Аналіз, узагальнення та систематизація основних технологій молекулярної гастрономії та фізико-хімічних явищ та процесів.

Викладення основних результатів дослідження. Для кращого розуміння суті фізико-хімічних процесів введемо деякі базові поняття. Дисперсна система — неоднорідна система, що складається з дисперсійного середовища та дисперсної фази. Дисперсна фаза — це дрібні частинки, дисперсійне середовище — це фаза, в якій рівномірно розподілена дисперсна фаза. Дисперсна фаза практично не розчиняється в дисперсійному середовищі. Між вказаними фазами існує поверхня розділу.

У працях (Дмитрик, 2009; Наконечна, Люлько & Шевченко, 2020; Арпуль, Сильчук & Дудкіна, 2013; Арпуль, Усатюк & Цигоняко, 2015; Слободян & Матияшук, 2019) описано вітчизняний досвід використання різноманітних технологій молекулярної кухні: сферифікація, гелеутворення, згущення, екстрагування, «Sous Vide» тощо. У табл. 1 узагальнено основні техніки, які використовують у молекулярній гастрономії, та текстури, необхідні для їх застосування.

Таблиця. Фізико-хімічні основи основних операцій молекулярної гастрономії

Техніки, текстури	Фізико хімічні явища та процеси	Результат
1	2	3
Сферифікація. Натрій альгінат (Е 401), кальцій хлорид (Е 509) або кальцій лактат (Е 327)	Процес загущення рідини з утворенням сфер унаслідок реакції між кальцій хлоридом або кальцій лактатом з натрій альгінатом	Наповнені рідиною сфери, що мають тонку оболонку
Гелеутворення. Агар-агар (Е 406), желатин (Е 441), карагенан (Е 407)	Процес утворення гелів, у яких дисперсна фаза утворює ґратчасту порувату просторову структуру, заповнену рідким дисперсійним середовищем	Пластичні, прозорі і міцні желе
Емульгування. Соевий лецитин (Е 322), метилцелюлоза (Е 461), гліцериди жирних кислот (Е 471)	Процес утворення дисперсних систем із рідким дисперсним середовищем і рідкою дисперсною фазою. Це кінетично нестійкі системи, які з часом розшаровуються. Коли система складається з найдрібніших пухирців газу в рідкій фазі, то її називають газовою емульсією	Продукт з однорідною консистенцією, легка піна
Еспумізація. Соевий лецитин (Е 322), ксантова камедь або ксантан (Е 415)	Процес утворення дисперсних систем, в яких дисперсною фазою є газоподібна речовина, а дисперсійним середовищем — рідина чи тверде тіло	Піни

1	2	3
Згущення. Ксантан (Е 415)	Процес модифікації водно-дисперсних харчових систем із метою надання їм необхідної консистенції	Густі соуси
Екстрагування. Ефірні олії, подрібнена рослинна сировина	Процес розділення суміші речовин на складові частини за допомогою розчинника (екстрагента), в якому вони розчиняються неоднаково. Відомі методи холодного, гарячого екстрагування та екстрагування за низького тиску «ISI Whip»	Ароматизовані харчові основи
Фільтрація. Діатомові водорості	Фільтрація — процес проходження розчину чи суспензії через пористу перегородку (мембрану) за різницею гідростатичного тиску з обох боків мембрани, причому розмір профільтрованих часточок обмежується діаметром пор	Прозорі продукти з мінімальним вмістом жиру
Аромадистиляція. Ефірні олії, подрібнена рослинна сировина	Процес розділення твердих або рідких речовин (чи їхньої суміші) на складові частини (компоненти) шляхом випаровування з подальшою конденсацією без доступу повітря, заснований на різній здатності речовин переходити в пароподібний стан залежно від температури і тиску	Ароматичні екстракти

Одним із найпоширеніших є метод сферифікації (Дмитрик, 2009; Наконечна, Люлько & Шевченко, 2020; Арпуль, Сильчук & Дудкіна, 2013). Це контрольований процес загущення рідини з утворенням сфер, що полягає в утворенні тонкої мембрани внаслідок реакції між кальцій хлоридом і натрій альгінатом.

Існує два види сферифікації — основна та зворотна. Основна сферифікація проводиться шляхом занурення рідини (чай, сік, молоко тощо), в якій розчинений натрій альгінат в кількості 1/3 від основного інгредієнта, у ванну із кальцій хлоридом. Розчин витримують за температури 4...6°C упродовж 1 год. Для густих (пюреподібних) рідин перед введенням натрій альгінату до основного інгредієнта додається вода для отримання потрібної консистенції. Недоліки цієї техніки: швидка подача сфер унаслідок процесу драглеутворення, який продовжується навіть після промивання сфери водою; додавання лужного компоненту при pH < 5 (наприклад, цитрату натрію) для зменшення рівня кислотності.

При зворотній сферифікації проводять занурення рідини із сумішшю глюкозату і лактату кальцію у ванну з альгінатом натрію та подальшим промиванням у чистій воді. При цьому отримують товсту і стійку оболонку сфер (молоко, вершки, йогурт, алкоголь тощо). Недоліком є утворення більш товстої мембрани, що може відчуватися на смак. Такі сфери не можна залишати надовго на повітрі, тому що гель висихає і перетворюється в кірку. Для збереження смаку й аромату сфери потрібно зберігати в рідині, якою вони заповнені, за температури 4...6°C (Наконечна, Люлько & Шевченко, 2020).

Страви, виготовлені з використанням сферифікації, є низькокалорійними, з підвищеним вмістом окремих поживних речовин, можуть бути використані в дієтичному харчуванні (Дмитрик, 2009; Арпуль, Сильчук & Дудкіна, 2013).

Процес гелеутворення проводиться за допомогою спеціального порошку агар-агару, желатину або карагенану (Арпуль, Усатюк & Цигоняко, 2015). Желатинування розчину починається з моменту досягнення достатньої для структурування об'єму концентрації золю (золь — найдрібніші частинки будь-якої речовини в рідкому, твердому чи газоподібному середовищі). Швидкість і ступінь желатинування, на відміну від більшості фізико-хімічних процесів, збільшується зі зниженням температури. Це пов'язано зі зменшенням швидкості руху макромолекул.

Технологічні параметри утворення гелю для кожного із структуруютьовуючих є різними. Желатин найчастіше використовують для приготування м'ясних і рибних холодців, а також при виготовленні желе і мусів. Для отримання желе та мусів, які не розплавляються за кімнатної температури, в рецептуру вводять до 4% желатину. Желатин набухає у холодній воді протягом 1—1,5 год, при цьому маса його збільшується у 6—8 разів. При нагріванні до температури 60°C набухлий желатин розчиняється. Одержаний розчин охолоджують до 20°C, утворення драглів відбувається за температури 2—8°C.

Агар-агар використовується у технологіях драглеподібних десертів, а також у начинках хлібобулочних виробів. Агар-агар розчиняється у гарячій воді (вище 85°C), а гелі утворюються при охолодженні. Розчини агар-агару мають високу желуючу здатність, яка, порівняно із желатином, є більшою у 8 разів. Для одержання гелів використовують концентрацію від 0,5 до 2,0%. Недоліком процесу є те, що при старінні агарові гелі піддаються синерезису (явищу самочинного зменшення розмірів гелю за рахунок виділення дисперсійного середовища, що втримується в структурі гелю).

При використанні карагенану для гелеутворення користуються к(капа)- і ι(йота)-карагенаном, оскільки λ(лямбда)-карагенан утворює в'язкі розчини, а не желеподібні структури. Гелі карагенанів утворюються, як і агарні гелі, шляхом охолодження дисперсій к- або ι-карагенанів навіть за концентрації 0,5% (Ластухін, 2009). Найкращим для гелеутворення є ι-карагенан. Він утворює еластичний гель, який не здатний до синерезису та володіє тиксотропними властивостями (здатен відновлювати свою структуру після її механічного руйнування). Розчин карагенану може використовуватися у виробництві м'ясних продуктів з метою утримання вологи і здешевлення виробництва в розрахунку на масу готової продукції.

Суть процесу емульгування полягає в утворенні однорідних систем, в яких як дисперсна фаза, так і дисперсійне середовище — рідини. Емульсії є кінетично нестійкими системами і з часом можуть розшаровуватися: за співвідношення густин дисперсної фази і дисперсійного середовища менше одиниці спостерігають осідання краплинок емульсії (седиментація), більше одиниці — їх випливання на поверхню (кремаж). Використовують для приготування соусів обидва основні типи емульсій: прямі («олія у воді») і зворотні, або інвертні («вода в олії»). Зміна складу та співвідношення компонентів, фізичний вплив можуть привести до перетворення прямої емульсії в зворотну і навпаки (Дмитрик, 2009). Агрегативну стійкість емульсії можна підвищити, застосовуючи емульгатори — речовини, здатні зменшувати поверхневий натяг, адсорбуючись на поверхні поділу. Стабілізаційна дія емульгаторів пов'язана також зі створенням захисних шарів структурно-механічної та електричної природи. Можна очікувати, що деяка перевага гідрофільності емульгатора (здатність деяких речовин змочуватися водою)

сприяє стабілізації емульсії типу «олія у воді», а ліофільності (здатність речовини інтенсивно взаємодіяти з рідким середовищем) — «вода в олії». Прямі емульсії стабілізуються гідрофільними (здатними до гідратації), а зворотні — гідрофобними (здатними відштовхувати воду) емульгаторами (Стрельцов та ін., 2020). Як емульгатори використовують соєвий лецитин, метилцелюлоза, а також гліцериди жирних кислот.

Процес еспумізації супроводжується утворенням дисперсних систем, в яких дисперсною фазою є газоподібна речовина, а дисперсійним середовищем — рідина чи тверде тіло. Харчові піни найчастіше отримують унаслідок струшування, інтенсивного перемішування, барботажу (пропускання) газів у рідину через пористий фільтр. Важливими характеристиками є стійкість і дисперсність піни. Стійкість визначається за часом самовільного руйнування (осідання) піни на половину висоти, а дисперсність — розмірами пухирців і товщиною плівки (Стрельцов та ін., 2020). Для одержання стійкої піни в молекулярній гастрономії найчастіше використовують природні харчові текстури: соєвий лецитин і ксантан.

Згущення — модифікація водно-дисперсних харчових систем з метою надання їм необхідної консистенції (Дмитрик, 2009). Ефективність процесу згущення суттєво залежить від форми, розміру і маси частинок інгредієнтів: чим вони більші, тим швидше осідатимуть. Для надання продуктам певної консистенції дуже важливе значення мають в'язкість, рН і температура суспензії.

Екстрагування — спосіб вилучення речовини з розчину або сухої суміші за допомогою відповідного розчинника (екстрагента). Найпростіший спосіб екстракції з розчину — одноразова або багаторазова обробка екстрагентом у ділильній лійці. Ділильна лійка — це спеціальна скляна конічна або циліндрична посудина з пробкою і краном для зливу нижнього шару рідини. Для безперервної екстракції використовують спеціальні апарати — екстрактори, або перколятори (Стрельцов та ін., 2020). Метод холодного екстрагування, яке проводять за кімнатної температури, застосовують у разі використання спирту або водно-спиртових розчинів як екстрагентів. Недоліком методу є довготривалість процесу: від декількох тижнів до декількох місяців. Відомий також метод гарячого екстрагування, при якому через підвищену температуру прискорюється рух молекул і зменшується тривалість процесу. Недоліком цього методу є те, що висока температура може змінити або зруйнувати деякі низькомолекулярні ароматичні речовини. Екстрагування за низького тиску «ISI Whip» проводять таким чином: сировину складають у «ISI Whip», повністю заливають екстрагентом, встановлюють балончик з азотом та збовтують впродовж 1—2 хв, випускають газ і відфільтровують настій.

Процес фільтрації відбувається внаслідок проходження розчину чи суспензії через пористу перегородку (мембрану) у результаті виникнення гідростатичного тиску з обох боків мембрани. Розмір профільтованих часточок обмежується діаметром пор. Для фільтрації в молекулярній гастрономії використовують особливу «таблетку», яка зроблена з діатомових водоростей. При проходженні через неї бульйону затримується майже 94% жиру.

Аромадистиляція — це перегонка рідких, пастоподібних і твердих речовин з метою одержання ароматичних екстрактів. Дистиляція — це розділення суміші летких рідин на деякі складові шляхом випаровування з подальшою конденсацією пари. У молекулярній гастрономії є поняття «молекулярна дистиляція». Це

метод перегонки речовин зі створенням дуже низького тиску, під час якого молекули, що випарувалися, мають достатній вільний пробіг, щоб безперешкодно перенестися з поверхні рідини. Середня величина пробігу молекул газу за інших однакових умов буде зростати пропорційно зменшенню тиску. Хімічна стабільність отриманих таким способом екстрактів досить висока. Перевагою цього процесу є те, що продукція має тривалий термін зберігання, оскільки температура дистиляції майже дорівнює температурі умовної пастеризації, при якій гинуть бактерії і мікроорганізми.

Суть методу «Sous Vide» полягає в пакуванні харчових продуктів у спеціальний пластиковий пакет, з якого відкачують повітря за допомогою вакууматора, та приготуванні на водяній бані за температури не вище 70°C.

Технологію «Sous Vide» використовують для приготування м'яса, риби, птиці. Іноді готують овочі, фрукти, боби і зернові, але для них цей метод приготування не настільки ефективний. Технологія не підходить для хлібобулочних і кондитерських виробів, а також для гарячих пудингів тощо. Зазвичай, при запіканні м'яса використовують температурний режим від 180°C і вище, у той час, коли для доведення його до готовності достатньо 55...65°C для яловичини, баранини та дичини, і не більше 70...80°C для свинини. За приготування в умовах «Sous Vide» технології температура всередині і зовні харчових продуктів буде однаковою, не буде відбуватись висихання та підгорання.

Використання вакуумних технологій, зокрема «Sous Vide», запобігає випаровуванню вологи та летких ароматичних речовин, дає змогу отримати м'ясні напівфабрикати з особливими смаками і підвищеною харчовою та біологічною цінністю (Слободян, Матияшук, 2019). При низькотемпературному обробленні такої сировини мембрани клітин не руйнуються, це дає змогу утримати внутрішньоклітинний сік, м'ясо зберігає свою соковитість і пружність.

В умовах домашнього приготування їжі з використанням технології «Sous Vide» використовують ванни з контролем температури води «Sous Vide Supreme». Для ресторанів використовують занурювальні водонагрівачі (immersion circulators), оскільки вони більш універсальні і мають велику потужність. Для герметизації продуктів у технології «Sous Vide» застосовують кухонний вакуумний пакувальник, наприклад, такий як «FoodSaver» і пакети для вакуумного пакування продуктів з матеріалів, дозволених до використання у харчових технологіях.

Висновки

Французький хімік Марселлін Бертло близько століття тому передбачав, що успіх органічної хімії надасть нам можливість відмовитися від традиційної їжі і до 2000 р. харчуватися поживними таблетками. На сьогодні це не так: людина — це живий організм з надзвичайно складним сенсорним апаратом, який еволюціонував протягом мільйонів років для виявлення запаху, смаку, консистенції, температури тощо (This, 2006). Ерве Тіс (Hervé This), науковий керівник Фонду науки та культури Alimentaire та керівник групи молекулярної гастрономії INRA в лабораторії аналітичної хімії Національного агрономічного інституту Paris-Grignon, (Париж, Франція), стверджує, що молекулярна гастрономія — це наукове розуміння їжі, хімія та фізика, що лежить в основі приготування будь-якої страви. Важливо розрізняти терміни кулінарія та гастрономія: перша — це технологія приготування їжі, тоді як друга — це знання того, що стосується харчування людини.

Проаналізовані технології молекулярної кухні містять здебільшого опис технологічних прийомів і промислового спеціального обладнання, однак відсутнє наукове обґрунтування рецептур, температурних режимів тощо. Тому предметом наших подальших експериментальних досліджень стане пошук оптимальних співвідношень інгредієнтів, моделювання температурних режимів і методів стабілізації текстур з використанням фізико-хімічних методів аналізу. Актуальним є також пошук нових компонентів вітчизняної харчової сировини.

Науковий прогрес змінює гастрономічні парадигми, і майбутнє за поєднанням традиційних та інноваційних способів трансформування харчових продуктів. Усвідомлене застосування знань про фізико-хімічні процеси перетворення окремих компонентів харчових продуктів надає можливість розробити широкий асортимент страв молекулярної кухні.

Література

- Арпуль, О. В., Сильчук, Т. А., Дудкіна, О. О. (2013). Дослідження сферифікаційної технології як перспективного напрямку розвитку молекулярних технологій продукції ресторанного господарства. *Обладнання та технології харчових виробництв*, 30, 3—8.
- Арпуль, О. В., Усатюк, О. М., Цигоняко, А. М. (2015). Використання агар-агару у технології солодких страв для закладів ресторанного господарства. *Харчова промисловість*, 17, 20—24.
- Barham, P., Skibsted, L. H., Wender, L., Bredie, P., Bom Frøst, M., Møller, P. ... Mørch Mortensen, L. (2010). Molecular Gastronomy: A New Emerging Scientific Discipline. *Chemical Reviews*, 110(4), 2313—2365. doi.org/10.1021/cr900105w.
- Гулай, О., Мороз, І., Шемет, В. (2020). *Структура хімічної компоненти навчального плану спеціальності «Харчові технології»*. Проблеми та інновації в природничо-математичній, технологічній і професійній освіті: зб. матеріалів X Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, Кропивницький: РВВ ЦДПУ ім. В. Винниченка.
- Дмитрик І. (2009). Особливості використання харчових текстур у молекулярній технології, *Товари і ринки*, 2, 58—64.
- Del Moral, R. G. (2020). Gastronomic Paradigms in Contemporary Western Cuisine: From French Haute Cuisine to Mass Media Gastronomy. *Frontiers in nutrition*, 6, 192. doi.org/10.3389/fnut.2019.00192.
- Ластухін, Ю. О. (2009). *Харчові добавки. Е-коди. Будова. Одержання. Властивості*. Львів: Центр Європи.
- Наконечна, Ю. Г., Люлько, М. В., Шевченко, Д. Г. (2020). *Сферифікація як метод молекулярної кухні*. The world of science and innovation. Abstracts of the 5th International scientific and practical conference. London, United Kingdom: Cognum Publishing House.
- Слободян, О. П., Матияшук, О. В. (2019). Сучасна молекулярна гастрономія. *Научний взгляд в будуще*, 12(1), 21—29.
- Стрельцов, О. А., Мельничук, Д. О., Снітинський, В. В., Федевич, С. В., Вовкотруб, М. П., Мельникова, Н. М. (2020). *Фізична і колоїдна хімія*. Львів: Ліґа-прес.
- Sivakumaran, K., Prabodhani, W. (2018). An overview of the applications molecular gastronomy in food industry. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 3(3), 35—40.
- This, H. (2006). Food for tomorrow? How the scientific discipline of molecular gastronomy could change the way we eat. *EMBO reports*, 7(11), 1062—1066. https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400850.
- Hill, B. (2009). *Molecular Gastronomy: Research and Experience*. Melbourne: International Specialised Skills Institute.

INFLUENCE OF PUMPKIN PROCESSING PRODUCTS ON STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF DOUGH AND BREAD QUALITY

V. Drobot, A. Shevchenko

National University of Food Technologies

Key words:

Bread
Pumpkin flour
Pumpkin fiber
Lecithin
Structural and mechanical properties of dough
Consumer properties

Article history:

Received 12.04.2021
Received in revised form 27.04.2021
Accepted 11.05.2021

Corresponding author:

V. Drobot
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The prevalence of gastrointestinal diseases, including irritable bowel syndrome, has been a concern over the past decade. The main approach to reducing the incidence of this disease is diet therapy. Since such a segment of products, in particular bakery products, is practically not represented at the Ukrainian market, the urgent task is to develop approaches to diet therapy using bakery products. According to the recommendations of the diet low in FODMAP (diet for irritable bowel syndrome), pumpkin is the product recommended for consumption. The influence of pumpkin flour and pumpkin fiber on the structural and mechanical properties of the dough and the quality of finished products from wheat flour, which additionally included lecithin, was studied. Pumpkin flour and pumpkin fiber contain 3.8 and 4 times more protein than high-grade wheat flour and 3.2 and 9.1 times more dietary fiber. They also contain a significant amount of the amino acid lysine, which is the limit in wheat flour. It was established that the use of pumpkin processing products reduced the gas content due to the influence of the components of this raw material on gluten. The gluten skeleton lost elasticity due to the content of dietary fiber and pectin in pumpkin raw materials, which reduced its ability to retain carbon dioxide. The viscosity of the dough changed under the action of the components of the pumpkin raw material. There was a tendency to reduce the content of crude gluten when using flour and pumpkin fiber. The elasticity and hydration ability of gluten also decreased, its extensibility increased. As the percentage of replacement of wheat flour with pumpkin flour and pumpkin fiber increased, the initial and final acidity increased. The shape stability of bread did not change significantly. Along with this, the taste of the products improved, which acquired a pleasant pumpkin hue. The bread crumb was elastic, well fluffed. Bread made with the studied raw materials had good consumer properties.

ВПЛИВ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ ГАРБУЗА НА СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТІСТА ТА ЯКІСТЬ ХЛІБА

В. І. Дробот, А. О. Шевченко

Національний університет харчових технологій

Протягом останнього десятиліття занепокоєння викликає поширеність захворювань шлунково-кишкового тракту, зокрема синдрому подразненого кишечника. Основним підходом до зниження захворюваності на ці хвороби є дієтотерапія. А оскільки на ринку України практично не представлений такий сегмент продукції, зокрема хлібобулочної, актуальним завданням є розроблення підходів до дієтотерапії за використання хлібобулочних виробів. Згідно з рекомендаціями дієти з низьким вмістом FODMAP (дієти при синдромі подразненого кишечника) продуктом, рекомендованим для споживання, є гарбуз.

У статті досліджено вплив гарбузового борошна та гарбузової клітковини на структурно-механічні властивості тіста та якість готових виробів з пшеничного борошна, до складу яких додатково внесено лецитин. Борошно гарбузове та гарбузова клітковина містять у 3,8 та 4 рази більше білка, ніж пшеничне борошно вищого сорту, та у 3,2 та 9,1 рази більше харчових волокон. Також вони містять значну кількість амінокислоти лізину, що є лімітуючою в борошні пшеничному. Встановлено, що за використання продуктів переробки гарбуза знижується газоутримання, що обумовлено впливом складових цієї сировини на клейковину. Клейковинний каркас втрачає еластичність за рахунок вмісту харчових волокон і пектинових речовин у гарбузовій сировині, що призводить до зниження його здатності утримувати діоксид вуглецю. Під дією складових гарбузової сировини змінюється в'язкість тіста. Встановлено тенденцію зменшення вмісту сирової клейковини при використанні борошна та клітковини гарбуза. Знижується також пружність і гідратаційна здатність клейковини, підвищується її розтяжність. Зі збільшенням відсотка заміни борошна пшеничного гарбузовим борошном та гарбузовою клітковиною зростає початкова та кінцева кислотність. Формостійкість хліба не значно змінюється. Поряд з цим покращується смак виробів, що набуває присмного гарбузового відтінку. М'якушка хліба еластична, добре розпушена. Хліб, виготовлений з досліджуваною сировиною, має добрі споживчі властивості.

Ключові слова: хліб, гарбузове борошно, гарбузова клітковина, лецитин, структурно-механічні властивості тіста, споживчі властивості.

Formulation of the problem. The prevalence of gastrointestinal diseases, including irritable bowel syndrome (IBS), has been a concern over the past decade. The prevalence of IBS is from 14 to 48 patients per 100 thousand population. The fact that the age peak incidence occurs at 20—40 years — the working segment of the population is of considerable concern, there is a tendency for a more frequent incidence of women (2—4 times) than men. This problem is global, because according to statistics, even in

highly developed countries, such diseases rank 2nd as the cause of disability. The etiology of these diseases is still unknown. In addition, IBS is the cause of other diseases, such as excessive bacterial growth syndrome, etc. (Степанов, Федорова & Зигало, 2019).

The main approach to reducing the incidence of this disease is diet therapy. Since such a segment of products, in particular bakery products, is practically not represented at the Ukrainian market, and therefore there are no approaches to the creation of appropriate bakery products, the urgent task is to develop approaches to diet therapy using bakery products. According to the recommendations of the diet low in FODMAP (diet for irritable bowel syndrome), pumpkin is the product recommended for consumption (Гібсон & Шеперд, 2010). Therefore, it is important to study the impact of pumpkin processing products on the technological process and quality of manufactured bakery products.

Analysis of recent research and publications. One of the ways to effectively supplement the diet of insufficient dietary fiber, vitamins and minerals is to enrich these nutrients in consumer products, and bread in particular, as evidenced by domestic and international experience. For this purpose, it is necessary to use non-traditional raw materials in bread recipes, which can change not only the organoleptic properties of bread, but also enrich it with the necessary essential nutrients, increasing its functional properties (Плахотін, Пасічний & Коваленко, 2012).

The use of pumpkin processing products in the manufacture of bakery products from wheat flour, namely semi-finished products — juice and puree from different varieties of pumpkin, obtained using different technologies are known. Varieties of pumpkin nutmeg “Dolya” — late ripening, large-fruited “Pink Banana” — medium ripe and hardwood “Danaya” — medium ripe were used. Organoleptic evaluation showed an improvement in the organoleptic properties of bread with the addition of the studied raw materials (Бараболя *et al.*, 2018).

Developments for adding a mixture of other types of flour to wheat flour, in particular pumpkin and spelled flour, were proposed. Determining the mineral composition of this raw material proved the feasibility of its use to improve the macro- and micro-element component of bread, as well as prolong the freshness of finished products (Миколенко & Гезь, 2017).

Scientists considered the possibility of introducing intensive technologies, namely the use of pumpkin powder in the dough for frozen semi-finished products, which was obtained by the method of activation drying to reduce the speed of its preparation and maximum preservation of vitamin C (Коркач, Пшенишнюк & Кананихина, 2010).

The influence of pumpkin flour on the properties of gluten in the process of making bread was studied by domestic scientists (Столярчук, 2010).

Developments of foreign scientists in the direction of enrichment of bread with products of pumpkin processing — puree, juice, candied fruit, oil are known. The effect of pumpkin pomace and pumpkin powder on the quality of wheat bread was evaluated. It was found that the volume of bread decreased with increasing dosage of this raw material. The total carotene content in wheat bread increased with the addition of pumpkin products (Kampuse, Ozola, Straumite & Galoburda, 2015; Rakcejeva, Galoburda, Cude, & Strautniece, 2011).

However, there are insufficient data on the impact of pumpkin products — flour and fiber on the technological process of manufacturing products.

For people suffering from IBS, the use of phospholipids, in particular phosphatidylcholine, is important because it is one of the main membrane phospholipids, which prevents damage to the upper and lower gastrointestinal tract, and is involved in the formation of a protective layer of intestinal mucin. Phosphatidylcholine provides hydrophobicity of the mucin layer covering the intestinal epithelium. Due to this, microorganisms cannot be fixed on its surface and are mechanically removed from the intestinal wall.

Phosphatidylcholine is more than 80% of intestinal mucin phospholipids in the organism of healthy person, while for patients with IBS, its content decreases by more than 70% (Дорофеев, Руденко, Швец & Дорофеева, 2017). One of the sources rich in phosphatidylcholine is lecithin. In addition, studies of the effect of lecithin on the course of the technological process of manufacturing gluten-free bakery products showed an improvement in gas content in the dough and fermentation capacity of yeast (Медвідь, Шидловська & Доценко, 2019).

Therefore, the **purpose** of the work was to determine the influence of pumpkin flour and pumpkin fiber on the structural and mechanical properties of dough and the quality of finished products from wheat flour, which additionally included lecithin.

Materials and methods. High-grade wheat flour, sunflower lecithin with a content of 95.3% phosphatidylcholine, pumpkin flour obtained from low-fat purified pumpkin seeds of large-fruited, hard-skinned variety “Pink Banana”, pumpkin fiber obtained from seed kernels were used for research.

Samples were prepared with the addition of lecithin in an amount of 3% by weight of flour. This dosage was chosen based on the recommendations of the daily norm of lecithin for people with IBS (Partridge *et al.*, 2019). Pumpkin flour was dosed in the amount of 5%, 10%, 15%, 20% to replace wheat flour, pumpkin fiber — 5%, 7%, 10%, 15% to replace wheat flour. The control was a sample without additional raw materials.

The structural and mechanical properties of the dough were characterized by the gas holding capacity in terms of the specific volume of the dough and the shape holding capacity in terms of the spread of the dough ball.

Indicators of finished products were determined by standard methods.

Statistical data processing was performed using Microsoft Excel XP software.

Results and discussion. Analysis of the chemical composition of the studied raw materials showed that pumpkin flour and pumpkin fiber are valuable sources of protein and dietary fiber (Table 1).

Table 1. Chemical composition of pumpkin processing products in comparison with high-grade wheat flour

Content per 100 g of product	High-grade wheat flour	Pumpkin flour	Pumpkin fiber
Protein, g	10.3	40	42
Fat, g	1.1	9	6
Carbohydrates, g	69.8	23	16
-including fiber, g	3.5	12	32

Pumpkin flour and pumpkin fiber contain 3.8 and 4 times more protein than high-grade wheat flour and 3.2 and 9.1 times more dietary fiber (DF). They also contain a significant amount of the amino acid lysine, which is the limit in wheat flour.

Acidity of pumpkin flour was 5.2 degrees, of pumpkin fiber — 4.8 degrees.

The gas holding capacity of the dough was characterized by its specific volume during 3 hours of its fermentation.

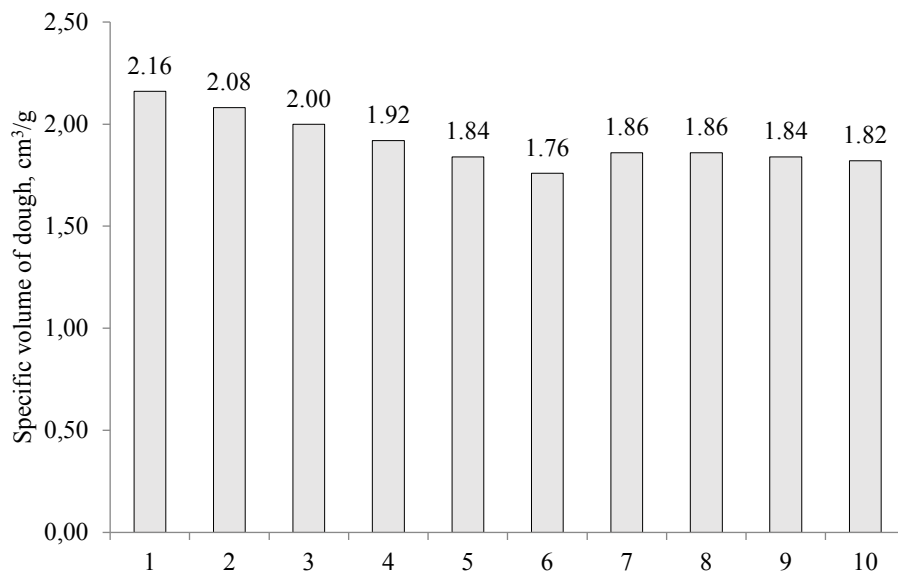


Fig. 1. Specific volume of dough:

1 — control sample; 2 — sample with lecithin; 3, 4, 5, 6 — sample with lecithin and pumpkin flour 5%, 10%, 15%, 20% to replace wheat flour; 7, 8, 9, 10 — sample with lecithin and pumpkin fiber 5%, 7%, 10%, 15% to replace wheat flour

It was established that the use of pumpkin processing products reduced gas content by 3.8—15.3% with pumpkin flour and by 10.5—12.5% with pumpkin fiber (Fig. 1). This was due to the influence of the components of these raw materials on gluten.

The gluten skeleton lost elasticity due to the content of DF and pectin substances in pumpkin raw materials, which reduced its ability to retain carbon dioxide. With an increase in the bread recipe of these products, this was manifested to a greater extent.

The viscosity of the dough changed under the action of the components of the pumpkin raw material. The viscosity of the dough with different amounts of pumpkin flour and pumpkin fiber was characterized by the spread of the dough ball during its fermentation during 3 hours.

It was found (Fig. 2) that the diameter of the ball during fermentation decreased by 3.8—15.3% with pumpkin flour and by 10.5—12.5% with pumpkin fiber depending on the dosage. This indicated an increase in the viscosity of the dough system due to the content of pumpkin raw materials of DF and pentosans.

An important indicator of structural and mechanical properties is the quantity and quality of gluten washed from the dough.

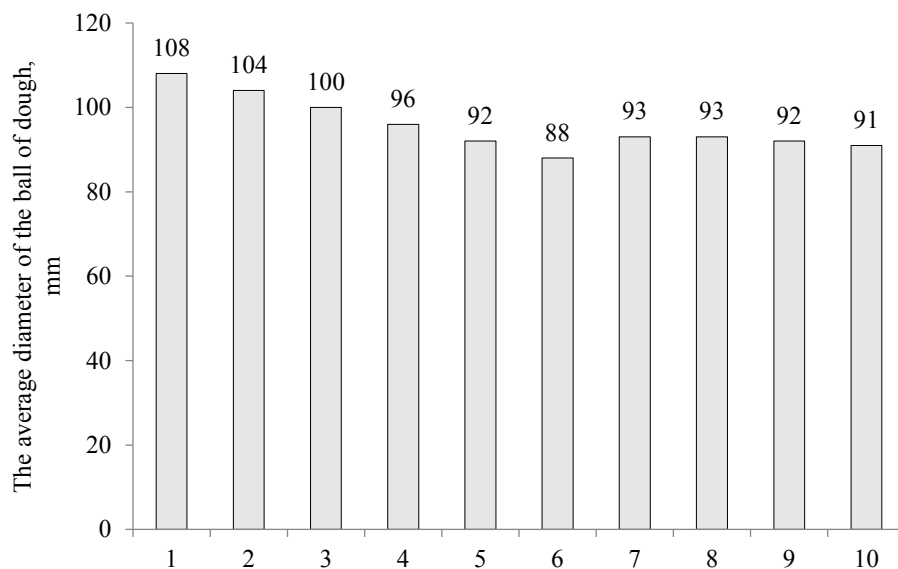


Fig. 2. Dilution the ball of dough:

1 — control sample; 2 — sample with lecithin; 3, 4, 5, 6 — sample with lecithin and pumpkin flour 5%, 10%, 15%, 20% to replace wheat flour; 7, 8, 9, 10 — sample with lecithin and pumpkin fiber 5%, 7%, 10%, 15% to replace wheat flour

Table 2. Quantity and quality of gluten washed from the dough

Sample	The amount of enricher, %	The amount of crude gluten, %	The amount of dry gluten, %	The value of IDG, units	Hydration capacity, %	Elongation, cm
Control sample	—	25.30	8.5	70	195.5	15.2
Sample with lecithin	3	23.60	8.0	76	194.8	15.8
Sample with lecithin and pumpkin flour	5	20.11	6.88	82	192.2	16.2
	10	16.23	5.64	88	187.6	16.9
	15	13.21	4.64	93	184.6	17.2
	20	12.12	4.29	95	182.1	17.6
Sample with lecithin and pumpkin fiber	5	21.24	7.24	79	193.3	16.5
	7	18.61	6.38	80	191.5	16.7
	10	16.70	5.77	83	189.1	17.3
	15	14.81	5.15	86	187.5	17.9

It was found that the introduction of lecithin reduced the amount of raw and dry gluten. This was due to the formation of compounds between the proteins of flour and lecithin, which were lost during leaching of gluten. At the same time the hydration ability of gluten slightly decreased, its elasticity decreased, extensibility increased.

The tendency of decrease in the content of crude gluten at use of flour and fiber of pumpkin with increase in their dosage was established (Table 2). This was apparently due to a decrease in the dough ability to form bound mass due to the interaction of the

lipid components of pumpkin and lecithin with wheat flour proteins. The elasticity and hydration ability of gluten also decreased, its extensibility increased.

Regularities of change of technological characteristics of dough semi-finished products and influence of raw materials on quality of bread were defined by means of baking. The results are shown in tables 3 and 4.

Table 3. Quality indicators of finished products with pumpkin flour

Indicators	Control sample	Sample with lecithin	Samples with pumpkin flour, % to replace wheat flour			
			5	10	15	20
Dough						
Humidity, %	41.8	41.7	41.9	41.9	41.7	41.7
Acidity, degrees						
-initial	1.8	1.8	1.8	1.9	2.1	2.3
-final	2.4	2.4	3.1	3.4	3.6	4.0
Duration of fermentation, min	150					
Duration of keeping, min	44	44	46	47	50	52
Bread						
Specific volume, cm ³ /100 g	224	234	220	218	178	146
Shape stability, H/D	0.56	0.61	0.60	0.58	0.55	0.53
Porosity, %	73	75	67	65	62	54
final acidity, degrees	2.0	2.0	2.5	2.8	3.1	3.4
Surface condition	smooth, without cracks				smooth, without cracks, uneven	
Crumb color	light			with a barely noticeable dark tinge	with a green tinge	with a noticeable green tinge
Crust color	light-yellow				darkened	greenish
The porosity structure	uniform, small, thin-walled				uniform, small, thick-walled	
Taste	inherent in the product		with pumpkin flavor		with a pronounced pumpkin flavor	

Table 4. Quality indicators of finished products with pumpkin fiber

Indicators	Control sample	Sample with lecithin	Samples with pumpkin fiber, % to replace wheat flour			
			5	7	10	15
1	2	3	4	5	6	7
Dough						
Humidity, %	41.8	41.7	41.9	41.9	41.7	41.7
Acidity, degrees						
-initial	1.8	1.8	1.8	1.9	2.1	2.3
-final	2.4	2.4	3.1	3.2	3.5	3.7

1	2	3	4	5	6	7
Duration of fermentation, min	150					
Duration of keeping, min B	44	44	43	41	40	38
Bread						
Specific volume, cm ³ /100 g	224	234	216	214	161	138
Shape stability, H/D	0.56	0.61	0.59	0.57	0.57	0.57
Porosity, %	73	75	72	72	70	70
final acidity, degrees	2.0	2.0	2.2	2.5	2.9	3.1
Surface condition	smooth, without cracks					smooth, without cracks, uneven
Crumb color	light			with a barely noticeable dark tinge	with a green tinge	with a noticeable green tinge
Crust color	light-yellow		light-yellow, with splashes of fiber		with green tinge, with splashes of fiber	
The porosity structure	uniform, small, thin-walled				uniform, small, thick-walled	
Taste	inherent in the product		with pumpkin flavor		with a pronounced pumpkin flavor	

As the percentage of replacement of wheat flour with pumpkin flour and pumpkin fiber increased, the initial and final acidity increased, which was caused by the higher acidity of the studied raw materials. The duration of aging of dough pieces was reduced.

The shape stability of bread did not change significantly. The acidity of the crumb of the studied products was higher than the control due to the higher acidity of the added raw materials.

The decrease in the specific volume and porosity of bread samples can be explained by the specifics of pumpkin fiber swelling. Due to the presence in the dough of dietary fiber, which swelling, was in the form of inclusions in the dough, gluten lost its integrity. Fiber from the studied raw materials during the period of fermentation and keeping was built into the gluten frame, destroying its integrity, reduced the gas-holding capacity of the dough, reduced the volume of finished products. Along with this, the taste of the products improved, which acquired a pleasant pumpkin hue. The bread crumb was elastic, well fluffed. Bread made with the studied raw materials had good consumer properties.

Conclusions

The expediency of enriching wheat bread with pumpkin processing products — flour and fiber in a mixture with lecithin, as a source of phospholipids, due to the structural and mechanical properties of the dough and bread quality indicators was established.

The use of pumpkin processing products reduced the gas content by 3.8—15.3% with pumpkin flour and by 10.5—12.5% with pumpkin fiber.

The viscosity of the dough system increased by 3.8—15.3% with pumpkin flour and by 10.5—12.5% with pumpkin fiber depending on the dosage.

The introduction of pumpkin raw materials significantly reduced the amount of raw and dry gluten due to the formation of compounds between the proteins of flour and components of the lipid nature of these raw materials, which are lost during washing gluten.

The specific volume and porosity of the samples were also reduced. However, consumer properties improved. It is rational to replace no more than 10% of wheat flour with pumpkin and no more than 7% of wheat flour with pumpkin fiber.

References

- Бараболя, О. В., Калашник, О. В., Мороз, С. Е., Жемела, Г. П., Юдічева, О. П., Сергієнко, О. В. (2018). Використання напівфабрикатів гарбуза для збагачення хліба пшеничного, *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 4, 76—80.
- Гібсон, П., Шеперд, С. (2010). Дієтичне управління функціональними шлунково-кишковими симптомами на основі фактичних даних: підхід FODMAP. *Журнал гастроентерології та гепатології*, 25(2), 252—258.
- Дорофеев, А. Э., Руденко, Н. Н., Швец, Н. И., Дорофеева, А. А. (2017). Место фосфатидилхолина в лечении воспалительного поражения кишечника, *Гастроентерология*, 51(3), 205—208.
- Коркач, Г. В., Пшенишнюк, Г. Ф., Кананихина, О. М. (2010). Влияние тыквенного порошка на физико-механические свойства замороженного теста для пиццы, *Харчова наука і технологія*, 1, 53—55.
- Медвідь, І. М., Шидловська, О. Б., Доценко, В. Ф. (2019). Дослідження впливу гідрокоолідів на структурно-механічні властивості тіста і якість безглютенового хліба, *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*, 30(69/4/2), 104—110.
- Миколенко, С. Ю., Гезь, Я. В. (2017). Дослідження впливу спельтового і гарбузового борошна на зміну споживчих характеристик хліба, *Продовольчі ресурси*, 9, 228—234.
- Плахотін, В. Я., Пасічний, В. М., Коваленко, А. М. (2012). Перспективи використання гарбуза у харчовій промисловості, *Проблеми формування здорового способу життя у молоді: зб. наук. праць молодих учених, аспір. та студентів за матеріалами V ВНПК*, 2, 79.
- Степанов, Ю. М., Федорова, Н. С., Зигало, Е. В. (2019). Ефективність рифаксиміну в корекції синдрому надлишкового бактеріального росту при хронічних запальних та функціональних захворюваннях кишечника, *Гастроентерология*, 53(4), 246—251.
- Столярчук, В. М. (2010). Вплив гарбузового борошна на хлібопекарські властивості пшеничного, *Технологии и оборудование пищевых производств*, 5, 66—68.
- Kampuse, S., Ozola, L., Straumite, E., Galoburda, R. (2015). Quality Parameters Of Wheat Bread Enriched With Pumpkin (Cucurbita Moschata) By-Products, *Acta Universitatis Cibiniensis Series E Food Technology*, 19(2), 3—14.
- Partridge, D., Lloyd, K. A., Rhodes, J. M., Walker, A. W., Johnstone, A. M., Campbell, B. J. (2019). Food additives: Assessing the impact of exposure to permitted emulsifiers on bowel and metabolic health — introducing the FADiets study, *Nutr Bull*, 44(4), 329—349.
- Rakcejeva, T., Galoburda, R., Cude, L., Strautniece, E. (2011). Use of dried pumpkins in wheat bread production, *Procedia Food Science*, 1, 441—447.

УДК 633.1:664.6

THE USE OF CHUFA FLOUR IN MUFFIN MAKING TECHNOLOGY

G. Khomich, Y. Nakonechna, E. Galushinsky

Poltava University of Economics and Trade

Key words:

*Flour confectionery
Functional products
Muffins
Chufa
Antioxidants*

Article history:

Received 03.05.2021
Received in revised form
13.05.2021
Accepted 26.05.2021

Corresponding author:

G. A. Khomich

E-mail:

homichgp27@ukr.net

ABSTRACT

The article considers the possibility of using flour obtained from chufa tubers in the technology of making muffins of high nutritional and biological value. The study of the influence of flour from chufa tubers on the technological process and the quality of finished products was performed by preparing composite mixtures with wheat flour. The prototypes provided the replacement of wheat flour from 10 to 100% with flour from chufa tubers. Muffins made from wheat flour of the highest grade were used as the control samples. It was found that the replacement of wheat flour with flour from chufa tubers affected the moisture content and water holding capacity of composite mixtures. Increasing the proportion of chufa flour in the mixture led to a decrease in moisture content by 0.8—5.0% and the water holding capacity of the flour mixture increased 1.8 times. It was determined that increasing the share of flour from chufa tubers in the composition of the composite mixture reduced by 0.24—3.75% the total cost of baking and shrinkage in the production of muffins. The alkalinity of the products when using flour from chufa was reduced by 5.3—47.4%, the brittleness — by 8.1—15.0% depending on the proportion of introduced flour chufa, and the specific swelling increased by 5.0—99.0%.

The influence of the proportion of introduced chufa flour on the geometric parameters of muffins was explored. With an increase in the proportion of chufa flour, there was a tendency to reduce the degree of convexity of the upper part of the product by increasing the ratio of its lateral part to diameter, with the specific volume of the product even when introduced into the recipe 90% of flour from chufa tubers by 3.6% compared to the control sample. It is shown that products made with the addition of chufa flour have antioxidant activity. For muffins containing from 40% to 100% chufa flour in the formulation, antioxidant activity was almost 2 times higher than control samples from wheat flour of the highest grade. In terms of aggregate quality indicators, the best muffins were samples with the addition from 40 to 80% of chufa flour.

DOI: 10.24263/2225-2924-2021-27-3-21

ВИКОРИСТАННЯ БОРОШНА ЧУФИ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ МАФІНІВ

Г. П. Хомич, Ю. Г. Наконечна, Є. М. Галушинський

Полтавський університет економіки і торгівлі

У статті розглянуто можливість використання борошна, отриманого з бульб чуфи, в технології виготовлення мафінів підвищеної харчової та біологічної цінностей. Дослідження впливу борошна з бульб чуфи на технологічний процес та якість готових виробів проводили шляхом приготування композиційних сумішей з пшеничним борошном. Дослідні зразки передбачали заміну пшеничного борошна на борошно з бульб чуфи (від 10 до 100%). Контролем були мафіни, виготовлені з пшеничного борошна вищого ґатунку. Встановлено, що заміна пшеничного борошна на борошно з бульб чуфи впливає на вміст вологи та вологоутримувальну здатність композиційних сумішей. Збільшення частки борошна чуфи в суміші приводить до зниження вмісту вологи на 0,8—5,0% та збільшення в 1,8 раза вологоутримувальної здатності суміші борошна. Визначено, що збільшення частки борошна з бульб чуфи в складі композиційної суміші зменшує на 0,24—3,75% сумарні витрати на упік і усушку при виробництві мафінів. Лужність виробів при використанні борошна з чуфи знижується на 5,3—47,4%, крихкуватість м'якушки виробів — на 8,1—15,0% (залежно від частки внесеного борошна чуфи), а питоме набухання зростає на 5,0—99,0%.

Досліджено вплив частки внесеного борошна чуфи на геометричні параметри мафінів. Зі збільшенням частки борошна чуфи спостерігається тенденція зменшення ступеня опуклості верхньої частини виробу за рахунок збільшення відношення її бокової частини до діаметра, при цьому питомий об'єм виробу навіть при введенні в рецептуру 90% борошна з бульб чуфи на 3,6% більший порівняно з контрольним зразком. Показано, що вироби, виготовлені з додаванням борошна чуфи, володіють антиоксидантною активністю. У мафінах, що містять у складі рецептури від 40% до 100% борошна чуфи, антиоксидантна активність вища майже вдвічі порівняно з контрольними зразками з пшеничного борошна вищого ґатунку. За сукупними показниками якості найкращими виявилися зразки з додаванням від 40 до 80% борошна чуфи.

Ключові слова: борошняні кондитерські вироби, функціональні продукти, мафіни, чуфа, антиоксиданти.

Постановка проблеми. У різних регіонах України проведені дослідження структури харчування населення, які виявили невідповідність між низьким рівнем енерговитрат і високим рівнем споживання висококалорійних харчових продуктів на тлі істотного зниження забезпеченості організму дорослих і дітей есенціальними харчовими речовинами (передусім мікронутрієнтами і мінорними біологічно активними компонентами їжі) (Сімахіна, 2019). Зазначені порушення якості харчування підвищують ризик розвитку аліментарно-залежних захворювань (серцево-судинні, цукровий діабет, ожиріння, подагра, жовчнокам'яна хво-

роба, залізодефіцитна анемія), а також обтяжують перебіг хронічних захворювань, в тому числі інфекційних (Мелега, 2018). Одним із шляхів поліпшення стану здоров'я людей за допомогою харчових продуктів є виробництво продуктів харчування, які відносять до спеціалізованої та функціональної груп. У сформованій соціальній та демографічній ситуації доцільним є створення нових технологій і розробка асортименту функціональних і спеціалізованих харчових продуктів, які є ефективним способом забезпечення організму людини необхідною кількістю макро- і мікронутрієнтів, що не вимагає зміни звичного харчового раціону і способу життя (Силка & Попович, 2020).

Великим попитом на сучасному ринку товарів і послуг користуються борошняні кондитерські вироби, адже їх сегмент є домінуючим через доступність для всіх верств населення і традиційність у структурі харчування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За кордоном приділяють серйозну увагу виробництву «здорових» борошняних кондитерських виробів: у Великій Британії, Німеччині, США та інших країнах в їх рецептуру вводять пшеничні, житні або вівсяні висівки, цільне незмелене зерно, вівсяне та ячмінне борошно, овочеві та фруктові добавки, інші компоненти (Birch & Bonwick, 2019; Horobets, Levchenko & Boroday, 2020).

В Україні також ефективно використовують групи інгредієнтів, завдяки яким формуються специфічні властивості борошняних виробів: харчові волокна, вітаміни (С, D, групи В, β -каротин, токоферолі), мінеральні речовини (Ca, Fe, J) або вітамінно-мінеральні премікси, ліпіди, що містять поліненасичені жирні кислоти, олігосахариди, цукрозамінники, білки, борошняні композитні суміші (МКС) з нетрадиційної сировини (Boroday, Horobets, Levchenko, & Choni, 2020; Horobets, Levchenko & Boroday, 2020).

В асортименті борошняної кондитерської продукції важливе місце посідають мафіни, популярність яких постійно зростає за рахунок привабливого зовнішнього вигляду та різноманітного смаку. Однак ці вироби характеризуються високою енергетичною та низькою харчовою і біологічною цінностями, крім того, найчастіше вони виготовляються з використанням імпортованих полікомпонентних сумішей, що не забезпечує отримання продукції з фізіологічно значущим вмістом біологічно активних речовин.

У Національному університеті харчових технологій проведено величезний комплекс досліджень, що забезпечили розробку інноваційних технологій мафінів на основі аглютенених видів борошна (рисового, гречаного, кукурудзяного, соєвого, горохового). Розроблені та затверджені рецептури нових видів мафінів для всіх груп населення, зокрема для хворих на целиацію та цукровий діабет (Дорохович, 2012; Силка, 2020).

Мета дослідження: обґрунтування використання борошна, отриманого з бульби чучи, в технології виробництва мафінів підвищеної харчової та біологічної цінностей.

Матеріали і методи. Експериментальну частину дослідження проводили на кафедрі технологій харчових виробництв і ресторанного господарства Полтавського університету економіки і торгівлі. Як об'єкти дослідження використовували бульби чучи, вирощені в Херсонській області в 2019—2020 рр., борошно з

бульб чуфи (ТУ 9293-016-778720064-2015), борошно пшеничне ДСТУ ISO 21415-1:2009. Визначення масової частки вологи в борошні, тісті і готових виробх проводили відповідно до ДСТУ 4910:2008. Визначення намоочуваності — відповідно до ДСТУ 5023:2008. Органолептичні показники якості, розмірні характеристики, масу визначали відповідно до ДСТУ 4683:2006. Для оцінки антиокислювальних властивостей рослинних екстрактів був обраний метод, запропонований В. І. Прилуцьким, заснований на зміні окислювально-відновлювального потенціалу в неактивованих неорганічних розчинах і складних біохімічних середовищах. Багато антиоксидантних речовин характеризуються здатністю знижувати окислювально-відновлюваний потенціал водних розчинів, у тому числі рідких внутрішніх середовищ організму, що підсилює активність екзогенних та ендегенних антиоксидантів за рахунок зняття термодинамічних обмежень. Основними критеріями зазначеного методу служили його ясність, простота, заданість, відтворюваність результатів і економічність (Прилуцкий, 1997)

Викладення основних результатів дослідження. Використання нетрадиційної рослинної сировини в технології борошняних кондитерських виробів дає змогу значно скоротити витрати традиційної сировини (пшеничного борошна, вершкового масла, яйцепродуктів) і надати виробам нових споживчих властивостей, а також підвищити харчову, біологічну цінність і функціональну направленість їх властивостей. Перевагами такої сировини є дешевизна та доступність.

Останнім часом інноваційні підприємства, що займаються як вирощуванням, так і переробкою ексклюзивних рослин з отриманням цінних у біологічному відношенні продуктів харчування, виявляють активний практичний інтерес до чуфи.

Чуфа — однорічна трав'яниста рослина сімейства осокових. На коренях цієї рослини утворюються покриті щільною коричневою шкірко бульби, схожі на горішки. Одна рослина за період вегетації може дати до п'яти тисяч бульб. Чуфа єдиний відомий олійний бульбоплід (Золовська, 2013).

У табл. 1 наведені результати дослідження основних компонентів хімічного складу борошна з бульб чуфи.

Таблиця 1. Хімічний склад борошна з бульб чуфи

Компоненти	Вміст компонента, %	Компоненти	Вміст компонента, мг/100 г
Вода	9,74	Мінеральні речовини:	
Білки	6,78	К	732,00
Жири	23,10	Са	125,00
Вуглеводи:		Mg	98,00
Моно- і дисахариди	19,86	Р	236,00
крохмаль	26,120	Вітаміни:	
клітковина	12,79	Е	21,60
Фруктоза, в % на СР	0,05	В ₁	6,22
Глюкоза, в % на СР	0,02	В ₂	5,75
Сахароза, в % на СР	18,90	С	4,50
Зола	4,00	Енергетична цінність ккал/кДж	410/1718

Незалежно від сорту та агробіологічних особливостей рослини вміст білка в борошні з бульб чуфи є практично однаковим і коливається від 6,51% до 7,08%, вміст жиру — 17,33—18,32%. У складі жирних кислот борошна з бульб чуфи присутні пальмітинова — 13,10%, стеаринова — 2,56%, олеїнова — 68,27%, лінолева — 10,68%, ліноленова — 1,10% від суми жирних кислот (Золовська, 2013).

Додавання борошна чуфи в рецептуру виробів надасть можливість підвищити їх біологічну і харчову цінності та забезпечить специфічні властивості, обумовлені значним вмістом білків, жирів, фосфоліпідів, стеринів, токоферолів (α -, β - і γ -), харчових волокон, вітамінів групи В та мінеральних речовин.

Фракційний склад білків борошна, отриманого з бульб чуфи, суттєво відрізняється від борошна пшеничного. Переважна більшість білків (83,5—92,0%) представлена альбумінами, на частку глобулінів, глютелінів і проламінів припадає близько 4,5—8,5% (Тихонова, Жаркова & Чусова, 2018). Тож додавання борошна, отриманого з бульб чуфи, може суттєво вплинути на формування структурно-механічних властивостей тіста для виробництва мафінів.

Для визначення впливу борошна з бульб чуфи на якість виробів і технологічний процес готували композиційні суміші з пшеничним борошном. Отримали 6 зразків композиційних сумішей з подальшою заміною пшеничного борошна на борошно з чуфи: 10, 20, 40, 60, 80 і 100%. Контролем були мафіни з пшеничного борошна вищого гатунку.

Вологість борошна, яке використовують для виготовлення борошняних кондитерських виробів, відіграє значну роль у технологічному процесі і при зберіганні готового виробу. Відповідно до нормативної документації вологість борошна становить 14,5% і не повинна перевищувати 15,0%. Борошно з підвищеною вологістю більш вразливе до зараження борошняними шкідниками та розвитку мікроорганізмів. При випіканні виробів з такого борошна вихід та якість буде нижча, а норма витрати борошна суттєво збільшуватися.

Дослідження зміни вмісту вологи в отриманих композиційних сумішах залежно від відсоткового вмісту борошна з бульб чуфи наведено на рис. 1.

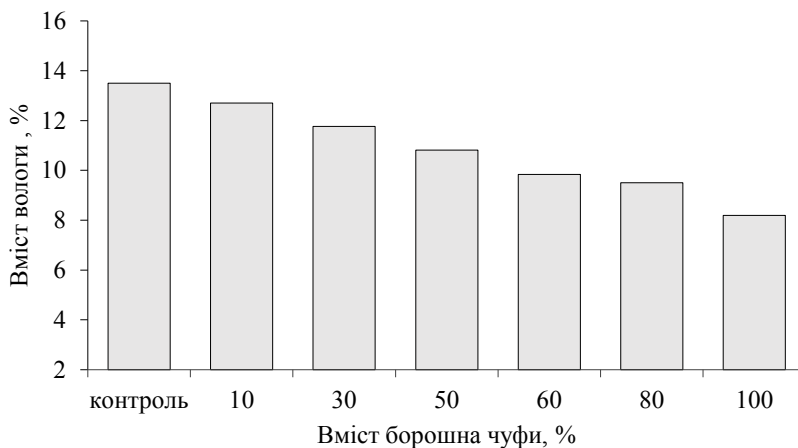


Рис. 1. Динаміка зміни вмісту вологи залежно від вмісту борошна чуфи в композиційній суміші

Результати проведених досліджень (рис. 1) показали, що вміст води в композиційних сумішах пшеничного і борошна, отриманого з бульб чучи, зменшується на 0,7—6,0% залежно від вмісту борошна чучи в суміші.

Дослідження зміни вологоутримувальної здатності композиційних сумішей борошна з частковою або повною заміною пшеничного борошна на борошно, отримане з бульб чучи, представлено на рис. 2.

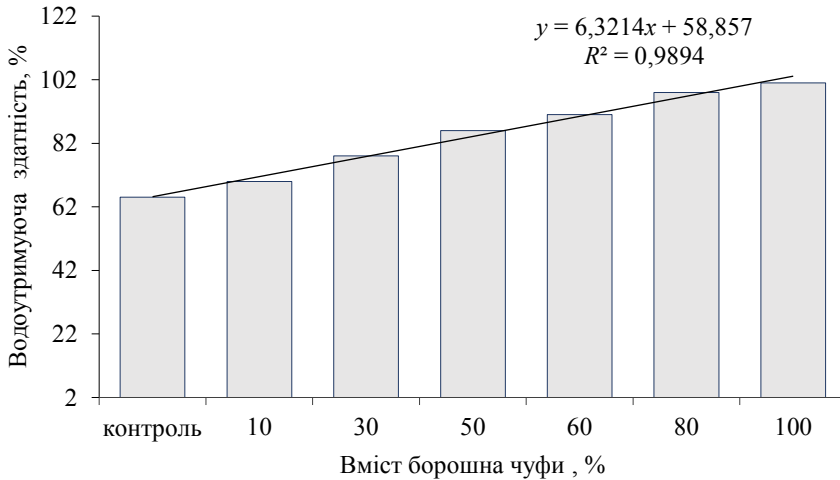


Рис. 2. Динаміка зміни вологоутримувальної здатності композиційних сумішей залежно від частки борошна з бульб чучи

Визначено, що вологоутримувальна здатність борошна, отриманого з бульб чучи, майже вдвічі вища порівняно з пшеничним борошном вищого гатунку, що обумовлено підвищеним вмістом полісахаридів, гідрофільних білкових речовин. Висока здатність утримувати воду надасть можливість збільшити вихід виробів, покращити текстуру тіста та позитивно вплине на термін зберігання готових виробів.

Борошно, отримане з бульб чучи, також можна розглядати як додаткове джерело білкових речовин, поліненасичених жирних кислот, вітамінів, мінеральних речовин при розробці нових видів борошняних кондитерських виробів.

Для визначення впливу борошна, отриманого з бульб чучи, на якість виробів досліджували зміну питомого об'єму мафінів. Результати досліджень наведені на рис. 3.

Встановлено (рис. 3), що при збільшенні дозування борошна з бульб чучи від 20 до 40% від маси пшеничного борошна в тісті, питомий об'єм виробів зростає і досягає максимуму при додаванні 40%, перевершуючи контрольний зразок на 15%.

При подальшому збільшенні частки борошна, отриманого з бульб чучи, питомий об'єм виробів зменшується, але не поступається контрольному значенню аж до зразка з часткою борошна чучи 90% від маси пшеничного борошна. Виріб, виготовлений тільки з використанням борошна чучи, без пшеничного борошна мав питомий об'єм на 7,2% менший порівняно з контрольним зразком.

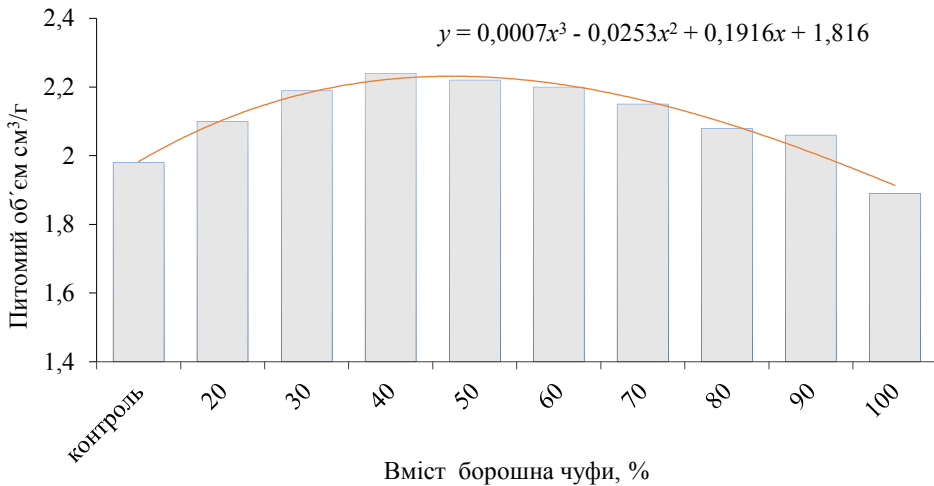


Рис. 3. Вплив дозування борошна чупи на питомий об'єм мафінів

За органолептичними показниками (смак, колір і аромат) всі дослідні зразки мафінів не поступалися контрольному зразку, а зменшення в рецептурі частки пшеничного борошна надавало готовим виробам більш виражений горіховий аромат і присмак.

Дослідили також вплив додавання борошна з бульб чупи на упікання та усування мафінів (рис. 4).

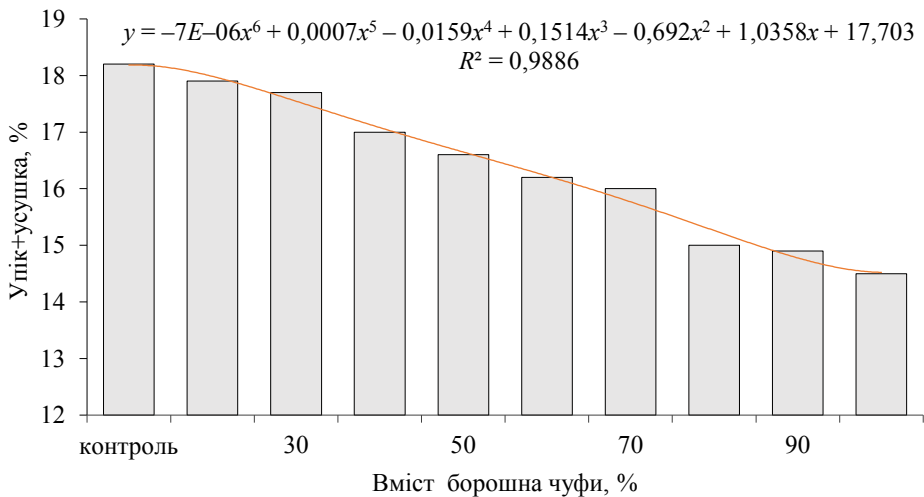


Рис. 4. Вплив дозування борошна чупи на усування+упікання мафінів

Отримані результати експериментальних досліджень (рис. 4) показують, що зі збільшенням частки борошна з бульб чупи від 20 до 100% від маси пшеничного борошна сумарні витрати на упікання й усування при виробництві мафінів зменшуються на 0,24—3,75%.

До фізико-хімічних показників, що визначають якість мафінів, відносять лужність, крихкуватість і пористість виробів (рис. 5—7).

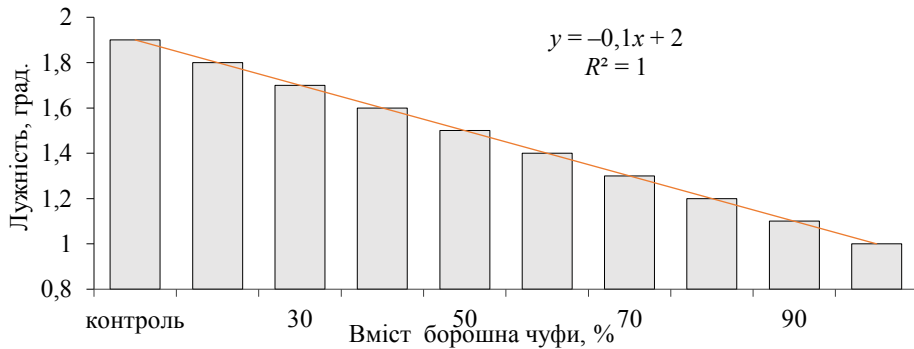


Рис. 5. Вплив борошна з бульб чуфи на лужність мафінів

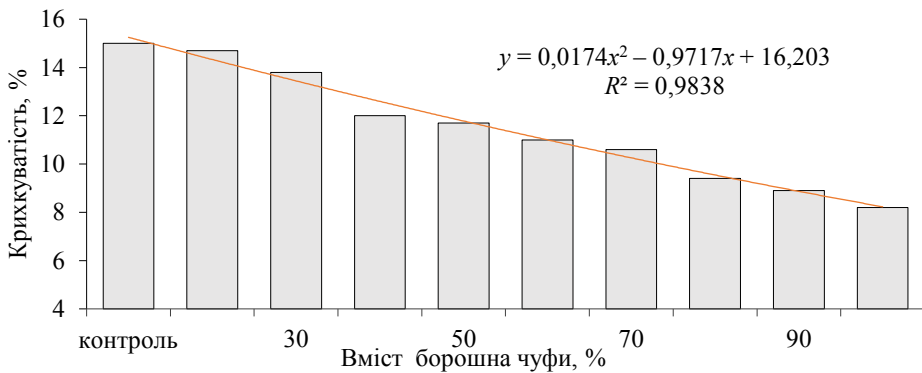


Рис. 6. Вплив борошна з бульб чуфи на крихкуватість мафінів

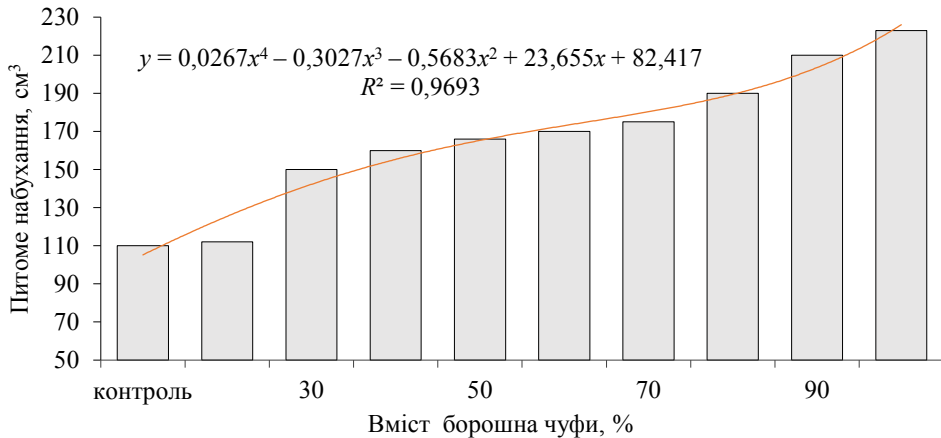


Рис. 7. Вплив борошна з бульб чуфи на питоме набування мафінів

За результатами проведених досліджень, лужність виробів знижується на 5,3—47,4% (рис. 5). Крихкуватість м'якушки виробів зменшується на 15,0—8,1% (рис. 6), а питоме набування зростає на 5,0—99,0% відповідно (рис. 7).

Характеристику якісних показників готових мафінів з використанням борошна чуфи визначали за геометричними параметрами виробів, враховуючи ступінь опуклості верхньої частини виробу і відношення висоти його бічної частини до діаметра (табл. 2).

Таблиця 2. Вплив дозування борошна з бульб чуфи на геометричні параметри мафінів ($d = 60\text{мм}$)

Показники	Характеристика зразків мафінів залежно від вмісту борошна чуфи, %									
	0	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Відношення висоти випуклої верхньої частини до її діаметра (ступінь випуклості)	0,32	0,32	0,31	0,24	0,23	0,22	0,17	0,13	0,10	0
Відношення висоти бокової частини до її діаметра	0,32	0,34	0,35	0,39	0,40	0,42	0,42	0,43	0,44	0,48
Висота мафіна, мм	33,0	38,9	39,6	40,2	36,8	34,6	32,6	30,5	27,8	29,4
Висота випуклої верхньої частини, мм	19,0	20,1	19,8	15,8	12,9	8,9	6,8	4,9	0	0
Висота бокової частини, мм	13,6	18,5	20,4	25,2	26,3	26,0	26,5	26,4	27,8	29,4

Виявлено (табл. 2), що зі збільшенням частки борошна чуфи спостерігається тенденція зменшення ступеня опуклості верхньої частини за рахунок збільшення відношення бокової частини до діаметра виробу, при цьому питомий об'єм виробу навіть при заміні 90,0% пшеничного борошна на борошно з бульб чуфи на 3,6% перевищує показник контрольного зразка. М'якуш у всіх зразках пропечений, не вологий на дотик, еластичний, після натискання пальцем швидко приймає початкову форму.

Оскільки у складі пшеничного борошна вищого гатунку та в борошні з чуфи є водорозчинні речовини, які володіють антиоксидантною активністю, то досліджували показник антиоксидантної активності отриманих мафінів (рис. 8).

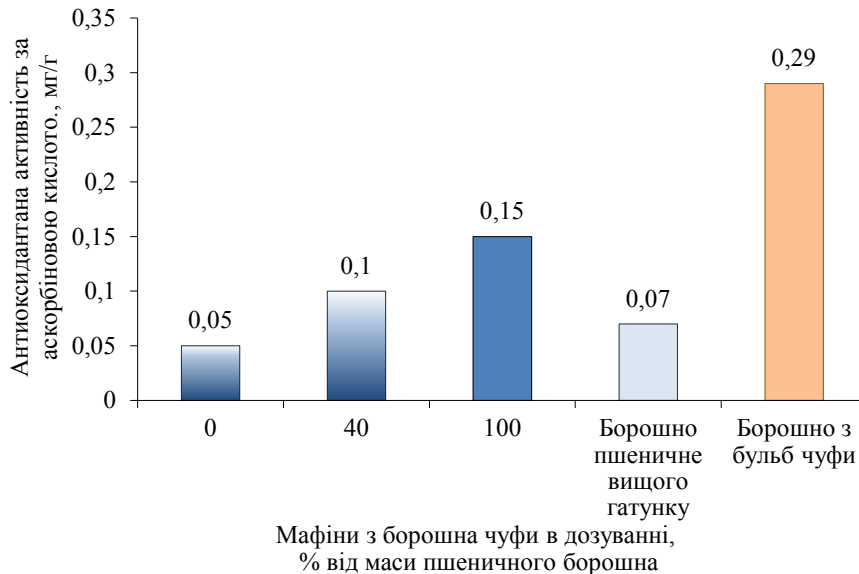


Рис. 8. Характеристика антиоксидантної активності мафінів залежно від дозування борошна з бульб чуфи

З даних, наведених на рис. 8, видно, що борошно з бульб чуфи містить в 3,4 рази більше речовин, що володіють антиоксидантною активністю. В ході технологічного процесу приготування мафінів ці речовини частково руйнуються, але у виробках, що містять у складі рецептури борошно з бульб чуфи в кількості 40% і 100%, антиоксидантна активність вища порівняно з мафінами з пшеничного борошна вищого гатунку на 33,2% і в 2,1 рази відповідно.

Розроблена рецептура мафінів з повною заміною пшеничного борошна на борошно з бульб чуфи дає змогу виділити окрему групу виробів і позиціонувати їх на ринку як безглютеновий виріб, рекомендований не тільки для людей, що стежать за своїм здоров'ям, а й для людей, які страждають від непереносимості білка злакових культур (глютену).

Висновки

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що структурно-механічні та фізико-хімічні показники мафінів, отриманих з використанням борошна, отриманого з бульб чуфи, відповідають вимогам чинного стандарту. За сукупними показниками якості представлених зразків мафінів найкращими виявилися зразки з додаванням від 40 до 80% борошна з бульб чуфи. У разі повної заміни пшеничного борошна на борошно з чуфи отримуємо безглютеновий виріб, який характеризується добрими показниками якості.

Література

- Дорохович, А. М., Лазоренко, Н. П. (2012). Мафіни на безглютеновому борошні для хворих на целиацію. *Ukrainian Food Journal*, 1(1), 61—58.
- Золоська, О. В. (2013) Розробка технологій молочно-рослинних десертів профілактичного призначення: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.18.16 «Технологія продуктів харчування». Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса. Взято з: <https://card-file.onaft.edu.ua/handle/123456789/3244>.
- Мелега, К. П. (2018). Сучасні моделі здорового харчування як основа здоров'язбереження та профілактики хронічних захворювань. Сучасні здоров'язбережувальні технології: колективна монографія / за заг. ред. проф. Ю. Д. Бойчука. Харків: Оригінал. Взято з: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/23480>.
- Прилуцкий, В. И. Окислительно-восстановительный потенциал для характеристики противокислительной активности различных напитков и витаминных компонентов. *Электрохим. активация в медицине, сел. хозяйстве, пром-сти: I Междунар. симпозиум*. Москва, 1997.
- Сімахіна, Г. О. (2019). Нові виклики перед харчовою промисловістю України в стратегії поліпшення національного здоров'я. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 25(5). Взято з: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/30781>.
- Силка, І. М., Попович, В. С. (2020). Розширення асортименту борошнянокондитерських виробів спеціального призначення. *Матеріали IX Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі*. Київ: НУХТ.
- Стеценко, Н. О. Функціональні харчові продукти у забезпеченні здоров'я людини (2019). *Die Relevanz und die Neuheit der modernen wissenschaftlichen Studien: der Sammlung wissenschaftlicher Arbeiten «ΛΟΓΟΣ» zu den Materialien der internationalen wissenschaftlich-praktischen Konferenz*, Wien, 23 August, 2019. Wien. NGO «Europäische Wissenschaftsplattform». Взято з: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/30213>.

Тихонова, М. Ю., Жаркова, И. М., Чусова, А. Е. (2018). Исследование растворимости белков муки из клубней чуфы с целью создания специализированной пищевой продукции. *Вопросы питания*.

Birch, C. S., Bonwick, G. A. (2019). Ensuring the future of functional foods. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(5). Взято з: https://eprints.ncl.ac.uk/file_store/production/250888/69C130C5-5D21-4A5D-A338-7C48DEF700FA.pdf.

Boroday, A., Horobets, A., Levchenko, Y., Choni, I. (2020). Використання батату в технології виробів з кексового тіста. НВ ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. *Серія: Харчові технології*, 22(94), 13—17. Взято з: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9403>.

Horobets, O., Levchenko, Y., Boroday, A. (2020). Інноваційні технології кондитерських виробів із використанням пюре з обліпихи. *Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації*, 3(1), 80—93. Взято з: <https://doi.org/10.31866/2616-7468.3.1.2020.205571>.

Tebben, L., Shen, Y., Li, Y. (2018). Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 10—24. Взято з: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.015>.

COMPLEX FORMATION AND EXTRACTION OF THREE-CHARGED METAL CATIONS IN THE PRESENCE OF CROWN ETHERS AND TRICHLOROACETIC ACID

O. Kronikovskii, D. Terechuk, 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

Key words:

*Crownethers
Extraction
Metals
Complexation*

Article history:

Received 27.04.2021
Received in revised form
11.05.2021
Accepted 24.05.2021

Corresponding author:

O. Kronikovskii
E-mail:
oleg.kronikovsky@
gmail.com

ABSTRACT

It was noted that for three-charged metal ions it is impossible to construct such selectivity series that are known for crown-ether extraction systems — alkali or alkaline earth metal. In case of lanthanides, the number of selectivity depends not only on the structure of the crown ether, but also based on the nature of the solvent and counterion. Thus, the best chloroform extraction of rare earth element picrates was observed for Pr and Nd for 15-crown-5, 18-crown-6 and dibenzo-18-crown-6, while in methylene chloride a high extraction of Sm picrate was observed for benzo-crown-ethers and La — for dicyclohexyl-18-crown-6. When extracting P3E nitrates with benzene in the presence of 18-crown-6 and dicyclohexyl-18-crown-6, the dependence of the distribution coefficients of the respective complexes on the atomic number of R3 ions has two maxima — for Ce — Nd and for Gd — Dy, and in the extraction of lanthanide trichloroacetates 1,2-dichloroethane has a monotonic decrease in partition coefficients with increasing atomic number.

Data on the composition and extraction constants of trichloroacetates of three-charged metal cations (Bismuth, Lanthanum, Cerium, Praseodymium and Neodymium) in the presence of a number of crown ethers were obtained. Chloroform was selected as the solvent, for which the values of extraction constants for a significant number of trichloroacetate complexes were obtained.

The composition of extracted complexes by the method of equilibrium shift was determined; the concentration and thermodynamic extraction constants of REE and Bismuth complexes with crown ethers and trichloroacetate ion were calculated. The research considered the correlations between the extraction properties of these systems and a number of parameters which affect the extraction process.

КОМПЛЕКСОУТВОРЕННЯ ТА ЕКСТРАКЦІЯ ТРИЗАРЯДНИХ КАТІОНІВ МЕТАЛІВ У ПРИСУТНОСТІ КРАУН-ЕТЕРІВ І ТРИХЛОРАЦЕТАТНОЇ КИСЛОТИ

О. І. Кроніковський, Д. О. Терещук, 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»

Необхідно відзначити, що для тризарядних йонів металів неможливо побудувати такі ряди вибірковості, які відомі для екстракційних систем краун-етер-катіон лужного або лужно-земельного металу. Для лантановидів ряд вибірковості залежить не лише від будови краун-етера, а й від природи розчинника та протийона. Так, найкраща екстракція хлороформом пікратів рідкісноземельних елементів спостерігалась для Pr і Nd для 15-краун-5, 18-краун-6 і дибензо-18-краун-6, тоді як у хлористому метилени спостерігалась висока екстракція пікрату Sm для бензо-краун-етерів і La — для дициклогексил-18-краун-6. При екстракції нітратів РЗЕ бензеном у присутності 18-краун-6 і дициклогексил-18-краун-6 залежність коефіцієнтів розподілу відповідних комплексів від атомного номера РЗ-йонів має два максимуми: для Ce — Nd, для Gd — Dy, а при вилученні трихлорацетатів лантановидів 1,2-дихлоретаном спостерігається монотонне зниження коефіцієнтів розподілу зі збільшенням атомного номера.

Отримано дані про склад та константи екстракції трихлорацетатів тризарядних катіонів металів (Бісмуту, Лантану, Церію, Празеодиму і Неодиму) в присутності ряду краун-етерів. Як розчинник був вибраний хлороформ, для якого отримані значення констант екстракції для значної кількості трихлорацетатних комплексів.

Методом зміщення рівноваги визначено склад екстрагованих комплексів; розраховані концентраційні та термодинамічні константи екстракції комплексів РЗЕ і Бісмуту з краун-етерами та трихлорацетат-йоном. Розглянуто кореляційні залежності між екстракційними властивостями систем і рядом параметрів, що впливають на процес екстракції.

Ключові слова: краун-етери, екстракція, метали, комплексоутворення.

Постановка проблеми. При розробці ефективних методик розділення та визначення катіонів металів в об'єктах навколишнього середовища досить часто використовується рідинна екстракція. Селективність екстракції значною мірою залежить від правильності підбору реагентів, розчинників та умов проведення процесу. Досить селективними реагентами при вилученні ряду металів зарекомендували себе макроциклічні краун-етери. У випадку жорстких катіонів лужних і лужноземельних металів спостерігаються гарні кореляційні залежності між екстракційними властивостями краун-етерів і відповідністю розмірів порожнини краун-етера діаметра катіона-комплексоутворювача та між стійкістю внутрішньосферних комплексів у воді і значеннями констант екстракції органічними розчинниками — чим вища стійкість комплексів у воді, тим легше вони переходять в

органічну фазу. Тому цікаво отримати дані про склад та константи екстракції трихлорацетатів тризарядних катіонів металів у присутності краун-етерів.

Дослідженню закономірностей в таких екстракційних системах і присвячена ця стаття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературі систематизовані дані щодо закономірностей екстракції одно- та двозарядних катіонів металів в екстракційних системах з використанням краун-етерів і монокарбонових кислот (Сапрыкин, Сафиулина, Магомедбеков & Тананаев, 2011), що надало можливість розробки ряду методик їх селективного вилучення та визначення.

Для розробки методик розділення, вилучення та визначення тризарядних катіонів металів у таких екстракційних системах необхідно було дослідити та систематизувати вплив ряду факторів на екстракційну здатність цих систем, оскільки в літературі є лише розрізнені дані з цієї проблеми.

Мета статті полягає в дослідженні та аналізі факторів, що впливають на комплексотворення тризарядних катіонів металів з краун-етерами та трихлорацетатом у воді та органічних розчинниках, встановленні складу та стійкості утворених комплексів 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.

Викладення основних результатів дослідження. В присутності літій трихлорацетату і краун-етерів в органічну фазу можуть переходити різнолігандні комплекси цілого ряду катіонів металів. Так, із одно- та двозарядних катіонів в присутності 18-краун-6 спостерігається екстракція хлороформом трихлорацетатів Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ , Ag^+ , Tl^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} і Pb^{2+} (Сапрыкин, Сафиулина, Магомедбеков & Тананаев, 2011). При цьому ступінь екстракції лишається практично незмінним від нейтральних розчинів аж до 1 М нітратної кислоти.

Введення у водну фазу великої кількості літій трихлорацетату призводить до зменшення константи розподілу 18-краун-6 між хлороформом і водою згідно з рівнянням Сеченова $\lg(D/P_0) = k \cdot c$. Значення k , рівне $-0,75 \pm 0,05$, значно нижче отриманого раніше для літій нітрату ($-0,12 \pm 0,03$) (Якшин, Вилкова, Плужник-Гладырь & Котляр, 2010) Тож літій трихлорацетат висолює 18C6 більш ефективно, ніж нітрат. Необхідно також урахувати, що підвищення кислотності розчину веде до зростання переходу 18C6 в органічну фазу за рахунок утворення асоціату з трихлорацетатною кислотою (Сухан, Назаренко & Крениковский). Сама CCl_3COOH лише в незначній мірі переходить у хлороформ: її розподіл кількісно описується константою розподілу $P_{\text{HТХА}} = 0,065$ та константою димеризації в хлороформі $K_{\text{дим}} = 26$. Введення в систему 18C6 призводить до збільшення концентрації CCl_3COOH в хлороформі. Із даних про розподіл визначена константа асоціації 18C6 і CCl_3COOH в хлороформі [3]:

$$K_{\text{ас}} = [\text{CCl}_3\text{COOH} \cdot 18\text{C6}]_o / [\text{CCl}_3\text{COOH}]_o \cdot [18\text{C6}]_o = 8,6 \cdot 10^2.$$

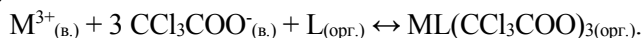
При $\text{pH} > 3$ утворенням асоціату можна знехтувати, тому для отримання констант екстракції комплексів катіонів металів з 18C6 і CCl_3COOH експеримент проводили при $\text{pH} > 3$ з урахуванням зміни константи розподілу краун-етера.

Тризарядні катіони Бісмуту, Лантану, Церію, Празеодиму і Неодиму в присутності краун-етерів 18-краун-6, 15-краун-5 і дициклогексил-18-краун-6 та трихлор-ацетату літію в різній мірі екстрагуються хлороформом із водних розчинів з рН = 1 – 6. В присутності дибензо-18-краун-6 трихлорацетати РЗЕ хлороформом майже не вилучаються.

Для створення оптимальної для екстракції кислотності (рН = 3 – 3,5) розчину вихідний 2,5 М розчин літій трихлорацетату готували нейтралізацією розчину трихлорацетатної кислоти відомої концентрації літій гідроксидом до рН 3 з подальшим доведенням до необхідного об'єму водою. Концентрація тризарядних іонів РЗЕ в кінцевому об'ємі не перевищувала $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Екстракцію вели при рівних об'ємах водної та органічної фаз. Окремим дослідом було визначено, що рівновага в екстракційних системах встановлюється протягом 3 хвилин. Для визначення рівноважної концентрації лантанодів в органічній фазі після екстракції проводили двократну реекстракцію їх ацетатним буферним розчином (рН = 3). Вміст РЗЕ в реекстракті знаходили спектрофотометричним методом з арсеназо-III ($\lambda_{\max} = 665$ нм).

Методом зміщення рівноваги було визначено, що за досліджуваних концентраційних умов в органічну фазу лантанодів переходять у вигляді комплексів, що містять одну молекулу краун-етеру та три трихлорацетат-йони. Встановлений склад сполук є аналогічним отриманому при екстракції дихлоретаном трихлор-ацетатів РЗЕ з 18-краун-6 (Абрамов, 2000) і відрізняється від отриманого при екстракції хлороформом піратів РЗЕ (ML_2A_3) (Золотов, 2012).

Отже, процес екстракції тризарядних катіонів металів можна відобразити таким рівнянням:



Відповідно, вираз для константи екстракції матиме вигляд:

$$K_{ex} = [ML(CCl_3COO)_3]_{(орг.)} / [M^{3+}]_{(в.)}[L]_{(орг.)}[CCl_3COO^{-}]^3_{(в.)}$$

На основі даних методу зміщення рівноваги розраховані концентраційні константи екстракції K_{ex} комплексів РЗЕ з краун-етерами та трихлорацетат-йоном (табл. 1).

Таблиця 1. Визначення константи екстракції комплексу $La18C6(CCl_3COO)_3$;
($C_{La} = 5 \cdot 10^{-5}$ моль/л)

C _{CCl₃COO⁻} ; моль/л	C _{18C6} ; моль/л	D _{18C6}	R, %	lgK _{ex}	
				концентраційна	термодинамічна
0,4	0,020	2,91	20	2,42	4,31
0,5	0,020	2,46	30	2,38	4,30
0,6	0,020	2,07	42	2,40	4,33
0,7	0,020	1,75	52	2,39	4,32
0,8	0,020	1,47	64	2,47	4,38
0,9	0,020	1,24	69	2,44	4,32
1,0	0,020	1,05	76	2,49	4,33
1,0	0,002	1,05	26	2,54	4,38
1,0	0,006	1,05	48	2,48	4,32
1,0	0,010	1,05	63	2,52	4,36
1,0	0,014	1,05	71	2,53	4,37
1,0	0,020	1,05	76	2,49	4,33
1,0	0,030	1,05	82	2,47	4,31

$$\lg K_{\text{ex}}(\text{конц.}) = 2,33 \pm 0,04;$$

$$\lg K_{\text{ex}}(\text{терм.}) = 4,34 \pm 0,02.$$

При розрахунках враховували, що введення у водну фазу трихлорацетату літію веде до зниження коефіцієнта розподілу краун-етера між хлороформом та водою відповідно до рівняння Сеченова $\lg D/P_o = k$ (для 18-краун-6 $k = -0,75$). Стійкість бінарних комплексів РЗЕ з 18-краун-6 у воді незначна, тому утворенням їх в умовах нашого експерименту можна знехтувати. Асоціація трихлороцтової кислоти з краун-етерами при $\text{pH} > 3$ також незначна. Вплив йонної сили на активність йонів РЗЕ і трихлорацетат-йонів урахувували з допомогою рівняння Девіс.

Зниження $\text{tg} \alpha$ від 3 до 1 є наслідком зв'язування Bi^{3+} в комплекс $\text{BiCCl}_3\text{COO}^{2+}$ у водній фазі та 18-краун-6 в асоціат з CCl_3COOH в органічній фазі при $\text{pH} = 1$. Так, $\lg K_{\text{ex}}$ комплексу $\text{Bi} \cdot 18\text{C}6 \cdot (\text{CCl}_3\text{COO})_3$ (в присутності 1 М розчину CCl_3COOLi) складає $5,0 \pm 0,1$ (Кроніковський, Терещук, Фоменко & Кроніковська, 2019).

Відкореговані таким чином значення констант являють собою термодинамічні константи екстракції (табл. 2).

Таблиця 2. Константи екстракції трихлорацетатних комплексів тризарядних йонів металів з краун-етерами хлороформом

Краун-етер	Йон металу	Радіус йона; Å	$\lg K_{\text{ex}}$ (трихлорацетат)		$\lg K_{\text{ex}}$ (пiкрат)
			концентраційна	термодинамічна	
18C6	La^{3+}	1,061	$2,33 \pm 0,04$	$4,34 \pm 0,02$	7,18
	Ce^{3+}	1,034	$1,96 \pm 0,02$	$3,83 \pm 0,01$	—
	Pr^{3+}	1,013	$1,46 \pm 0,03$	$3,34 \pm 0,01$	7,72
	Nd^{3+}	0,995	$0,71 \pm 0,03$	$2,60 \pm 0,02$	7,62
	Bi^{3+}	1,200	$5,0 \pm 0,1$	$6,8 \pm 0,1$	—
15C5	La^{3+}		$0,16 \pm 0,01$	$2,01 \pm 0,01$	5,78
	Nd^{3+}		$-0,80 \pm 0,01$	$1,04 \pm 0,01$	6,84
DC18C6	La^{3+}		$1,66 \pm 0,01$	$3,51 \pm 0,01$	—
DB18C6	La^{3+}		< -1		4,85

Отримані значення K_{ex} свідчать, що екстракційна здатність у трихлорацетатній системі знижується в ряду $18\text{-краун-6} > \text{дициклогексил-18-краун-6} \gg \text{дибензо-18-краун-6}$ для 18-членних макроциклів. Незважаючи на те, що за радіусом йони Ln^{3+} ближчі до 15-краун-5, ніж до 18-краун-6, однак екстракція 15-членними макроциклами значно менш ефективна.

Привертають увагу досить значні розбіжності в значеннях констант екстракції трихлорацетатних комплексів РЗЕ з 18-краун-6. Спостерігається хороша кореляція між $\lg K_{\text{ex}}$ і $1/r$ (коефіцієнт кореляції складає $-0,986$), а залежність логарифма константи екстракції від йонного радіуса добре описується рівнянням прямої: $\lg K_{\text{ex}} = -27,2(1/r) + 30,07$. При цьому необхідно враховувати, що йонний радіус La^{3+} значно нижчий за оптимальний для 18-краун-6 значення ($1,30 - 1,35$ Å), тож константи екстракції закономірно знижуються зі зменшенням йонних радіусів. Для йонів лантанодів цей ефект більш помітний, ніж у випадку лужних і лужноземельних металів. Так, для однозарядних катіонів лінійна залежність $\lg K_{\text{ex}}$ три-

хлорацетатних комплексів з 18-краун-6 від (1/г) має нахил $-7,5$ (коефіцієнт кореляції складає $-0,996$), а для двозарядних катіонів — -15 (коефіцієнт кореляції складає $-0,992$). Видно, що нахил лінійної залежності пропорційний заряду центрального йона ($-7,5$; -15 ; -27). В той же час такий хід залежності не включає йони Bi^{3+} , радіус яких приблизно такий же, як і La^{3+} , але значення $\lg K_{\text{ex}} = 6,8$ — значно вище, ніж для Лантану. Якщо одним із факторів, що забезпечують кращу екстракцію Tl^{+} і Pb^{2+} порівняно з йонами Rb^{+} і Sr^{2+} , є різниця в їх здатності до поляризації, то за аналогією можна допустити, що причиною кращої екстракції Бісмуту порівняно з Лантаном може також служити більш висока його здатність до поляризації. Опосередкованим доказом цього є хороша кореляція між $\lg K_{\text{ex}}$ тризарядних катіонів металів і значеннями йонної рефракції (Александров, Курносов, Пашкова & Акопова): коефіцієнт кореляції складає $0,996$. Водночас екстраполяція такої залежності на значення йонної рефракції йона Bi^{3+} дає значення константи екстракції, що на кілька порядків перевищує отриману величину. Тож модель має враховувати залежність екстракційних властивостей, що найменше, від двох параметрів.

Помітною є відмінність складу і констант екстракції трихлорацетатних і пікратних комплексів РЗЕ з 18-краун-6 (табл. 2). Причиною цього може бути суттєво інша сольватація трихлорацетат-йона в хлороформі. Існує також імовірність, що трихлорацетат-йон, аналогічно нітрату, входить до внутрішньої координаційної сфери комплексів, чим ускладнює приєднання другої молекули краун-етера. Координація пірат-йона до центрального атома малоімовірна, що дає змогу тризарядному йону РЗЕ додатково координуватися другою молекулою краун-етеру. В цьому разі пірат-йон може координуватися в зовнішню сферу.

У випадку РЗЕ вплив розчинника та протийона на екстракцію навіть більший, ніж розмір порожнини краун-етера. Так, для екстракції пікратних комплексів оптимальним і для 18-краун-6, і для 15-краун-5 виявився Pr^{3+} , а для три хлорацетатних — La^{3+} . Це пояснюється тим, що йони La^{3+} не проникають у площину краун-етера (Якшин В. В., 2001). Таке пояснення можливе для пірату, але для трихлорацетату воно є сумнівним у зв'язку з помітною залежністю величини K_{ex} від йонного радіуса та здатності до поляризації тризарядного йона РЗЕ. Слід відмітити, що отримані величини констант екстракції добре корелюють зі значеннями констант стійкості комплексів РЗЕ з 18-краун-6 в метанолі (Золотов, 2012). Це може бути опосередкованим підтвердженням утворення внутрішньосферних комплексів. Сольватуєча здатність дициклогексил-18-краун-6, зважаючи на його більшу гідрофобність, має бути значно вищою, ніж для 18-краун-6, однак спостерігається зворотній ефект: константа екстракції комплексу La^{3+} з дициклогексил-18-краун-6 дещо нижча, ніж з 18-краун-6. Цей результат добре узгоджується з більш низьким значенням константи стійкості комплексу La^{3+} з дициклогексил-18-краун-6.

Висновки

Тризарядні катіони Лантану, Церію, Празеодиму і Неодиму в присутності краун-етерів 18-краун-6, 15-краун-5 і дициклогексил-18-краун-6 та трихлорацетату літію в різній мірі екстрагуються хлороформом. В присутності 18-краун-6 і

CCl_3COOH при $\text{pH} = 1$ Бісмут також може бути кількісно переведений в органічну фазу.

Методом зміщення рівноваги визначено склад екстрагованих комплексів. На основі даних методу зміщення рівноваги розраховані концентраційні та термодинамічні константи екстракції комплексів РЗЕ і Бісмуту з краун-етерами та трихлорацетат-йонієм. Встановлені кореляційні залежності між екстракційними властивостями краун-етерів і рядом параметрів, що впливають на процес екстракції.

Література

Сапрыкин, Ю. В., Сафиулина, А. М., Магомедбеков, Э. П., Тананаев, И. Г. (2011). Экстракция цезия краун-эфирами в различных средах. *Успехи в химии и химической технологии*, XXV(7), 33—37.

Якшин, В. В., Вилкова, О. М., Плужник-Гладырь, С. М., Котляр, С. А. (2010). Краун-эфиры в экстракции и сорбции. I. Бромпроизводные бензо- и дибензокраун-эфиров в процессах сорбции элементов из кислых водных растворов. *Макрогетероциклы*, 3(2—3), 114—120.

Сухан, В. В., Назаренко, А. Ю., Крониковский, О. И. (1989). Двухфазные экстракционные системы на основе ассоциатов трихлоруксусной кислоты с полиэфирами. *Украинский химический журнал*, 55(11), 1188—1191.

Абрамов, А. А. (2000). Экстракция катионов краун-эфирами. *Вестник Московского университета. Серия 2. Химия*, 41(1), 3—15.

Золотов, Ю. А. (2012) *Основы аналитической химии. Методы химического анализа*. М.: Высшая школа.

Кроніковський, О. І., Терещук, Д. О., Фоменко, В. В., Кроніковська, О. П. (2019). Особливості комплексоутворення та екстракції вісмуту в системі Vi^{3+} — 18-краун-6 — CCl_3COOH . *Наукові праці НУХТ*, Т. 25, № 4. С. 225—231.

Александров А. И., Курносое А. В., Пашкова Т. В., Акопова О. Б. (2005). Исследование структуры некоторых краун-эфиров в объемных образцах и пленках Ленгмюра-Блоджетт. *Химия и химическая технология*, 8(5), 38—43.

Якшин, В. В. (2001). Стереохимические особенности процессов экстракции краун-эфиром. *Химия и технология экстракции*, 1, 39—47.

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).

У редакційно-видавничий відділ необхідно представити:

- файл статті;
- рецензію доктора наук певної галузі (за тематичною спрямованістю статті). Якщо один із авторів статті є доктором наук, то рецензія необов'язкова;
- роздруковку тексту статті, що відповідає наданому файлу;
- заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань;
- витяг з протоколу засідання кафедри (підрозділу) з рекомендацією роботи до друку.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті подаються у вигляді вчитаних роздруків на папері формату А4 (поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word). У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані. Обсяг статті має бути не менший 15 тис. знаків і не перевищувати 24 тис. знаків (як виняток, не більше 40 тис. знаків).

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 джерел (не менше п'яти джерел). **Бібліографічні описи оформляються згідно з міжнародним стилем АРА.** Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на наукові праці останніх років. 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 англійських 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 author should submit to the editorial board the following documents:

- 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;
- Printed version of the manuscript;
- A statement signed by the author(s) that the manuscript has not been published and is not submitted for publication;
- Extract from the minutes of the department / unit of the organization confirming that the manuscript is recommended for publication.

REQUIREMENTS FOR MANUSCRIPTS

The printed version of the manuscript should be submitted on A4 paper (margins of 2 cm, Time New Roman, type size 14, spacing 1.5) and the electronic version should be submitted in a Microsoft Word document. 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 size of the manuscript should be from 12,000 to 24,000 characters (as an exception, up to 40,000 characters).

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 (not less than 5) 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. 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