



2023

НАУКОВІ ПРАЦІ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 29 № 2

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

КИЇВ ✧ НУХТ ✧ 2023

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

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

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

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

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

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

Editorial office address:

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

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Minutes of meeting # 9 from 20th of April, 2023

© NUFT, 2023

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

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

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

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

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

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

Адреса редакції:

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

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій.
Протокол № 9 від 20 квітня 2023 року

© НУХТ, 2023

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор

Editor-in-Chief

Олександр Шевченко

Oleksandr Shevchenko

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Відповідальний секретар

Accountable secretary

Анастасія Шевченко

Anastasiia Shevchenko

канд. техн. наук, доц., Україна

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

Члени редакційної колегії:

Агота Гедре Райшене

Agota Giedre Raisiene

д-р екон. наук, Литва

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

Атанаска Тенєва

Atanaska Teneva

д-р екон. наук, доц., Болгарія

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

Анатолій Зайнчковський

Anatoly Zainchkovskiy

д-р екон. наук, проф., Україна

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

Анатолій Ладанюк

Anatoly Ladanyuk

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Андрій Маринін

Andrii Marynin

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

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

Браян Мак Кенна

Brian McKenna

д-р техн. наук, проф., Ірландія

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

Валерій Мирончук

Valerii Myronchuk

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Василь Кишенько

Vasyl Kyshenko

канд. техн. наук, проф., Україна

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

Василь Пасічний

Vasyl Pasichnyi

д-р техн. наук, проф., Україна

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

В'ячеслав Івашук

Vyacheslav Ivaschuk

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Віктор Стабніков

Viktor Stabnikov

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Володимир Зав'ялов

Volodymyr Zavialov

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Галина Колісник

Halyna Kolisnyk

д-р екон. наук, проф., Україна

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

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

ЗМІСТ

Безпека харчових продуктів і виробництв

Шульга О. С., Шульга С. І. Зміни законодавства України у сфері безпечності харчових продуктів

Біотехнології

Пирог Т. П., Вороненко А. А. Шляхи підвищення ефективності технологій синтезу мікробних екзополісахаридів. Частина 2. Вдосконалення штамів-продуцентів методами метаболічної та генетичної інженерії

Стоцька О. В. Очищення стічних вод пивоварної галузі з використанням технології метанового бродиння

Економіка, менеджмент і маркетинг

Страшинська Л. В., Шеремет О. О., Михайлик О. М. Методичні підходи до визначення рівня продовольчої безпеки держави

Механічна та електрична інженерія

Балиута С. М., Копилова Л. О., Куєвда Ю. В., Йовбак В. Д., Кондрашевський М. С., Кандибка П. М., Куєвда В. П. Забезпечення енергоефективних режимів роботи в системах електрозабезпечення промислових і цивільних об'єктів шляхом регулювання напруги

Бондар В. І., Білик О. А., Іващенко Н. В. Гідродинамічне дослідження групи струменів рідини в апаратах із циліндричними розподільними пристроями

Дви́калюк Р. М. Випробування пристрою для збору прополісу в умовах пасічних господарств різних регіонів України

Харчові технології

Бужанська М. В., Пушак А. С. Реологічні властивості та ретроградація взірців нативного та модифікованого крохмалю

Михалевич А. П., Бреус Н. М., Поліщук Г. Є., Басс О. О. Дослідження впливу концентратів демінералізованої сироватки на показники якості морозива

Дударев І. М., Кузьмін О. В. Вплив рослинних інгредієнтів на органолептичні та фізико-хімічні показники салатних заправок

CONTENTS

Food Products Safety and Occupational Health

7 Shulga O., Shulga S. Changes in Ukrainian legislation in the field of food safety

Biotechnologies

22 Pirog T., Voronenko A. Ways for increasing the ways of increasing the efficiency of technologies for the synthesis of microbial exopolysaccharides. Part 2. Improvement of producer strains by methods of metabolic and genetic engineering

37 Stotska O. Purification of wastewater from the brewing industry using methane fermentation technology

Economy, Management and Marketing

48 Strashynska L., Sheremet O., Mykhailik O. Methodical approaches to determining the level of food security of the state

Mechanical and Electrical Engineering

61 Baliuta S., Kopilova L., Kuievda Iu., Jovbak V., Kondrashevsky M., Kandybka P., Kuievda V. Ensuring energy-efficient work modes in electrical supply systems of industrial and civil facilities by voltage regulation

77 Bondar V., Bilyk O., Ivashchenko N. Hydrodynamic study of a liquid jet group in appliances with cylindrical distribution devices

85 Dvykaliuk R. Testing of the collecting propolis device on the bee farms in different regions of Ukraine

Food Technologies

101 Buzhanska M., Pushak A. Rheological properties and retrogradation of native and modified starch samples

113 Mykhalevych A., Breus N., Polishchuk G., Bass O. Study of the influence of demineralized whey concentrates on ice cream quality indicators

124 Dudarev I., Kuzmin O. Influence of plant-based ingredients on the sensory and physicochemical indicators of salad dressings

- Василишина О. В.* Вплив обробки полісахаридними композиціями на вміст біологічно активних речовин плодів вишні 139 *Vasylyshyna O.* The influence of processing cherry fruits with polysaccharide composition on the content of biologically active substances
- Сімахіна Г. О., Науменко Н. В., Камінська С. В., Межубовський О. М.* Обґрунтування складу високобілкового концентрату для супів швидкого приготування 150 *Simakhina G., Naumenko N., Kaminska S., Mezhubovsky O.* Justification of the composition of high protein concentrate for instant soups
- Шевченко А. О., Литвинчук С. І., Коваль О. В.* Вплив гарбузової клітковини на перерозподіл структурних груп у тісті та хлібі з пшеничного борошна 162 *Shevchenko A., Litvynchuk S., Koval O.* The effect of pumpkin cellulose on the redistribution of structural groups in wheat flour dough and bread
- Діхтяр О. О., Адамчук Л. О., Антонів А. Д.* Дослідження біологічної цінності та нутрієнтного складу медового десерту 172 *Dikhtiar O., Adamchuk L., Antoniv A.* Research of biological value and nutrient composition of honey dessert
- Махінко В. М., Махінко Л. В., Козир О. М.* Перспективи використання елементів штучного інтелекту в лібобіженні 181 *Makhynko V., Makhynko L., Kozyr O.* Perspectives of using artificial intelligence elements in bread baking
- Маринін А. І., Шпак В. В.* В'язкопружні властивості суспензій кукурудзяного крохмалю на електрохімічно активованій воді 189 *Marynin A., Shpak V.* Viscospringy properties of corn starch suspensions prepared with electrochemically activated water

УДК 664

CHANGES IN UKRAINIAN LEGISLATION IN THE FIELD OF FOOD SAFETY

O. Shulga, S. Shulga

National University of Food Technologies

Key words:

*The food Ukrainian
legislation
Food safety
Traceability
The Law*

Article history:

Received 01.03.2023
Received in revised form
13.03.2023
Accepted 31.03.2023

Corresponding author:

O. Shulga
E-mail:
shulgaos@ukr.net

ABSTRACT

Ukraine is a legal country of the European community. The status of EU member imposes additional obligations on the state to harmonize the legislative framework with EU requirements. The food safety also notes significant changes that will allow in the future to provide consumers with safe food and increase export volumes. The safety system based on HACCP principles is now mandatory for every market operator. However, this was just the first step. Further Ukrainian legislation harmonization will allow to improve traceability processes. The Ukrainian Laws adoption of labeling, requirements for packaging materials and containers, marks for food of animal origin will allow food monitoring along the entire production chain with the aim of eliminating likely emerging threats. The concretization of market operator legal status and his legal responsibility for low-quality food has also been introduced by recent changes to a number of Ukrainian Laws. Every specialist in the food industry must monitor changes in Ukrainian legislation regarding the safety of food in order to adapt production. Therefore, legislative changes in the food safety are due to the need to fulfill the requirements of the Association Agreement between Ukraine and the EU and the current state of war in the country. The changes made in 2022 showed that traceability standards were more carefully regulated due to the introduction of labels for animal origin food and labeling requirements. In addition, the law adoption on materials and objects come into contact with food and will reduce the risk of danger regarding the harmful substances migration into food. Constant updating of the food assortment and packaging materials and containers for them, as well as methods of researching their quality and safety, will lead to constant changes in food legislation.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-2-3

ЗМІНИ ЗАКОНОДАВСТВА УКРАЇНИ У СФЕРІ БЕЗПЕЧНОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

О. С. Шульга, С. І. Шульга

Національний університет харчових технологій

Україна є правовою країною європейської спільноти. Статус члена на вступ у ЄС накладає додаткові зобов'язання на державу щодо гармонізації законодавчої бази з вимогами ЄС. Сфера безпечності харчових продуктів також зазначає суттєвих змін, які в подальшому дадуть змогу забезпечити споживача безпечною продукцією та збільшити обсяги експорту. Система безпечності, заснована на принципах НАССР, нині є обов'язковою для кожного оператора ринку. Проте це був лише перший крок. Подальша гармонізація українського законодавства покращить процеси простежуваності.

Прийняття законів України щодо маркування, вимог до пакувальних матеріалів і тари, позначок для продуктів тваринного походження дасть змогу відслідковувати продукцію на всьому ланцюгу виробництва з метою ліквідації ймовірних загроз. У законах України конкретизовано деякі аспекти правового статусу оператора ринку та його юридичної відповідальності за неякісний харчовий продуктів. Кожний фахівець харчової галузі повинен відслідковувати зміни українського законодавства щодо безпечності харчових продуктів з метою адаптації виробництва. Отже, законодавчі зміни у сфері безпечності харчових продуктів обумовлені необхідністю виконання вимог Угоди про асоціацію між Україною та ЄС та теперішнім воєнним станом у державі. Аналіз змін, які було зроблено у 2022 р., показав, що більш ретельно упорядковано норми простежуваності за рахунок введення позначок для харчових продуктів тваринного походження та вимог до маркування. Крім того, прийняття закону щодо матеріалів і предметів, які контактують з харчовими продуктами, знижує ризик небезпеки щодо міграції шкідливих речовин у харчові продукти. Постійне оновлення асортименту харчових продуктів та пакувальних матеріалів і тари для них та методів дослідження їх якості і безпечності буде обумовлювати постійні зміни харчового законодавства.

Ключові слова: харчове законодавство України, безпечність харчових продуктів, простежуваність, закон.

Постановка проблеми. Нині Україна переживає найскладніший період у своїй новітній історії. Захищаючи свою незалежність, країна активно рухається до членства в ЄС, що вимагає гармонізації законодавчої сфери в усіх галузях, що зафіксовано Угодою про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони, яка була підписана в березні 2014 р. і набрала чинності у вересні 2017 року. Щодо сфери якості та безпечності харчових продуктів, то зазначена Угода містить статтю 56, яка передбачає, що по-перше, «Україна вживає необхідних заходів з метою поступового досягнення відповідності з технічними регламентами ЄС та системами стандартизації, метрології,

акредитації, робіт з оцінки відповідності та ринкового нагляду ЄС та зобов'язується дотримуватися принципів та практик, викладених в актуальних рішеннях та регламентах ЄС», по-друге, «Україна поступово впроваджує звід європейських стандартів (EN) як національні стандарти, зокрема гармонізовані європейські стандарти, добровільне застосування яких вважається таким, що відповідає вимогам законодавства, зазначеного у Додатку III до цієї Угоди. Одночасно з таким впровадженням Україна скасовує конфліктні національні стандарти, зокрема застосування міждержавних стандартів (GOST/ГОСТ), розроблених до 1992 року. Крім цього, Україна поступово вживатиме інших необхідних заходів щодо виконання умов набуття членства згідно з вимогами, що застосовуються до повноправних членів європейських організацій зі стандартизації».

Нині вже напрацьований значний досвід (Fortin, 2022) щодо адаптації національних законодавств до вимог ЄС, який доцільно застосувати і в Україні. Харчова промисловість України характеризується виробництвом традиційних харчових продуктів, тому розроблені заходи можна буде застосувати і в інших країнах, які стандартизують своє національне харчове законодавство відповідно до вимог ЄС (Onul, & Pastovenska, 2022) та/або інших регіональних та/або субрегіональних організацій та/або міжнародної спільноти. Логічно, що норми щодо різних способів регулювання, пов'язані з харчовими традиціями, також стосуються традиційних методів виробництва та збуту харчових продуктів.

За останні 15 років харчове законодавство ЄС (Wijnands та ін. 2011) зазнало суттєвих змін, реагуючи на зростання занепокоєння щодо безпечності харчових продуктів, інформації для споживачів і функціонування внутрішнього ринку ЄС. Європейська харчова промисловість переживає період структурної перебудови. Споживчі переваги змінюються через зміни доходів, структури населення та способу життя, на що повинна реагувати і нормативно-правова база ЄС.

Крім того, оновлення законодавства є нормальною практикою і для світової спільноти (Pettoello-Mantovani, & Olivieri, 2022). Так, через 15 років Регламент ЄС № 382/202128 оновив Регламент (ЄС) № 852/2004. Новий регламент тепер містить оновлені рекомендації Кодексу Аліментаріусу, опубліковані у вересні 2020 р. щодо гігієни харчових продуктів і нової політики щодо запобігання та контролю перехресного контакту з алергенами.

Отже, на виконання взятих зобов'язань відбуваються постійні зміни у законодавстві України. Відслідковувати такі зміни необхідно кожному фахівцеві у своїй сфері. Харчова безпека забезпечує здоров'я нації, тому якнайшвидше упорядкування забезпечить населення України безпечними харчовими продуктами, а також дасть змогу вітчизняним виробникам експортувати продукцію. Використовуючи європейський досвід щодо адаптації національних законодавств до загальних вимог, Україна може швидко і безболісно адаптувати своє законодавство до вимог ЄС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Українські науковці постійно аналізують законодавчу базу (Шишлюк, 2021), зокрема тенденції її розвитку після проголошення незалежності України. Автор зазначеної публікації приходить до висновку, що юридичне забезпечення безпечності харчових продуктів складно вирішити виключно за рахунок розроблення та прийняття законів щодо продо-

вольчої безпеки. Необхідно розробити та прийняти ряд законів, які б систематично регламентували всі аспекти діяльності агропромислового комплексу, починаючи від вирощування сировини і закінчуючи виготовленням кінцевої продукції.

Українське законодавство вимагає постійного вдосконалення у сфері безпечності та якості харчових продуктів (Теремецький, 2016), адже асортимент і перелік сировини постійно розширюється, як і методи аналізу.

Вступ України до СОТ також вимагає гармонізації у сфері застосування санітарних і фітосанітарних заходів (Карпінська, 2020; Карпінська, 2020). Крім того, Україна взяла на себе зобов'язання згідно з Угодою про асоціацію Україна—ЄС і саме ця Угода останні дев'ять років стала ключовим каталізатором реформ в усіх сферах держави. Угода передбачає комплексну програму наближення українського законодавства до норм європейського. Автори статті (Baranovych, & Ocheretko, 2017) проаналізували вплив на ділові відносини між Україною та ЄС та вже зроблені кроки у сфері реформування харчового законодавства.

Сталий розвиток країни неможливий без забезпечення продовольчої безпеки (Трагнюк, Мірошник, & Кутнякова, 2022), що також потребує вдосконалення українського законодавства на шляху до євроінтеграції.

Автор статті (Пустовіт, 2017) прийшов до висновку, що трансформація законодавства, яка нині вже відбулася, дає змогу розділити повноваження та відповідальність між операторами ринку та органами влади і контроль та нагляд повинен здійснюватися публічно із залученням відповідних сервісів.

Аналіз законодавства України з питань безпеки та якості харчових продуктів показав (Дубова, 2014), що в Україні в основному законодавчо регламентовані питання стосовно забезпечення безпеки та якості харчових продуктів. Однак незавершеною є гармонізація європейських вимог і норм у власне законодавство.

Автори статей (Галкіна, 2017; Сокур, 2018) проаналізували сучасний стан нормативно-правового забезпечення безпечності та якості харчових продуктів в Україні. Науковці визначили теперішні проблеми щодо застосування нормативно-правової бази та запропонували своє рішення, що поліпшить сферу безпечності та якості харчових продуктів в Україні.

Охарактеризовано деякі проблемні питання контрольних функцій суб'єктів агропромислового комплексу України на основі аналізу чинних нормативно-правових актів задля удосконалення норм законодавства України у сфері агропромислового комплексу (Іванова, 2018).

Автори публікації (Білоусько, Шовкун, & Білоусько, 2019) запропонували виокремити пріоритети у сфері гармонізації системи безпечності та якості аграрної і харчової продукції вимогам ЄС, адже недосконалість цієї системи є одним із основних негативних факторів, що суттєво впливає на конкурентоспроможність вітчизняних операторів ринку на світових ринках.

У статті (Fallico, Arena, Verzera, & Zappalà, 2006) обговорюється роль Директиви ЄС 2001/110 про торгівлю медом. Вимоги до якості меду, затверджені ДСТУ 4497:2005, є більш суворими порівняно з Директивою ЄС 2001/110, зокрема щодо вмісту гідроксиметилфурфуролу.

Молочні альтернативи (Leialohilani, & de Boer, 2020) — це продукти, виготовлені з рослинного молока замість звичайних продуктів тваринного походження, таких як сир і йогурт. Однак те саме законодавство негативно впливає на інновації в галузі через:

- різне тлумачення Регламенту (ЄС) 1308/2013 (СМО);
- різний рівень захисту споживачів у різних секторах;
- відсутність юридичного визначення веганської їжі;
- вузьке визначення термінів «молоко» та «молочні продукти», як це визначено в СМО.

Саме тому внесення змін до визначення молока та молочних продуктів у СМО або розширення списку винятків із визначень визначаються як можливі рішення для подолання виявлених перешкод.

Оператори ринку з виробництва молока та молочних продуктів зацікавлені в експорті. Під час імпорту використовується система TRACES і вантаж повинен супроводжуватися сертифікатом. Система забезпечує відстеження продукції та запобігає поширенню захворювань. Важливу роль відіграють прикордонні контрольні пункти, де відповідні митні та ветеринарні перевірки проводяться державними установами. Законодавство ЄС забезпечує безпечний рівень харчових продуктів, які надходять на ринок у країнах-членах ЄС. Це законодавство встановлює загальні гігієнічні вимоги до виробництва харчових продуктів на основі належної виробничої практики і системи HACCP.

Визначені критерії (Leialohilani, & de Boer, 2020) щодо вмісту мікроорганізмів, хімічних речовин і харчових добавок. Крім того, законодавство містить вимоги до маркування молочної продукції. Частина законодавства стосується організації ринку молока та молочних продуктів. Ці положення містять правила щодо прямих платежів, субсидій і визначають систему молока для школярів тощо. Спеціальне законодавство створює правила для виробництва органічних харчових продуктів, для виробництва та маркування продукції із захищеним географічним зазначенням, захищеним найменуванням, гарантує походження та традиційність харчових продуктів.

Законодавство ЄС також визначає маркування харчових продуктів для певних груп населення, наприклад, продукти без глютену, продукти без лактози тощо. Аналогічні вимоги щодо позначення алергенів нині вже є чинними і в Україні, що закріплено Законом України «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів» від 06.12.2018 № 2639-VIII. У сферах, які не регулюються законодавством ЄС (Čapla та ін. 2022), передбачається маркування продуктів сертифікаційними знаками, призначеними для підкреслення придатності харчових продуктів для релігійних цілей або сертифікації якості. Цей аспект також узгоджується із законодавством України.

Законодавча база є одним із ключових моментів у контролі систем переробки молока (Коса, Erbay, & Öztürk, 2022), як і багатьох харчових продуктів. Молочні продукти, включно з плавленим сиром, регулюються різними національними та/або міжнародними правилами та законодавством у різних країнах через забезпечення безпеки та якості продукції для споживачів, а також для регулювання молочного ринку для всіх учасників, включаючи молочні компанії. Вони класи-

фікують продукти відповідно до їх складу або інгредієнтів і створюють справедливе торговельне середовище, запобігаючи фальсифікаціям. Автори статті (Коса, Erbay, & Öztürk, 2022) аналізують нормативні документи, рекомендації та корисну інформацію про гігієнічні аспекти та сировину, яка використовується у виробництві плавленого сиру, розглядають вимоги законодавчих актів до різновидів плавленого сиру, починаючи з Кодексу Аліментаріус, обговорюють законодавство, розроблене в окремих регіонах, включаючи ЄС і країни Перської затоки, та національне законодавство, що діє в окремих країнах.

Варто також зазначити, що недоліки має і європейське законодавства. Так, на думку авторів (Chieffi, Fanelli, & Fusco, 2022), потребує упорядкування сфера застосування пробіотиків, адже є відмінності між правилами Європейського Союзу та спеціальними національними правилами країн-членів ЄС.

Отже, аналіз останніх публікацій показав, що законодавча база є динамічною і потребує постійного перегляду, удосконалення, але перш за все гармонізації із законодавчою базою ЄС у сфері безпечності харчових продуктів.

Мета дослідження: проаналізувати зміни законодавчої бази України за 2022 р. та навести зміни, які є обов'язковими для застосування у сфері безпечності харчових продуктів.

Матеріали і методи. Аналіз результатів загальнотеоретичних і галузевих досліджень сучасного стану законодавства у сфері продовольчої безпеки, законодавчо-правової бази України, а також перспектив і проблем, у тому числі понятійного й термінологічного характеру, що дасть змогу визначити проблеми й перспективи розвитку законодавства у сфері продовольчої безпеки та практику його застосування.

Викладення основних результатів дослідження. Постійне розширення асортименту пакувальних матеріалів і тари для харчових продуктів вимагає упорядкування вимог для таких матеріалів, крім того, пакування безпосередньо контактує з харчовими продуктами, тому потенційно може створювати небезпеку для кінцевого продукту. Саме тому прийнятий Закон України «Про матеріали і предмети, призначені для контакту з харчовими продуктами» від 03.11.2022 №2718-IX. Розроблений Закон виконує пункт 20 Всеохоплюючої стратегії імплементації Глави IV (Санітарні та фітосанітарні заходи) Розділу IV «Торгівля і питання, пов'язані з торгівлею» Угоди про Асоціацію між Україною та ЄС. Варто зазначити, що наведений Закон корелюється з вимогами глобального законодавства щодо матеріалів, що контактують з харчовими продуктами (Baughan, 2022). Закон упорядкує питання щодо:

1. Загальних вимог до предметів і матеріалів, які призначені для контакту з харчовими продуктами, зокрема вводиться показник загальні межі міграції складових елементів у/або на харчовий продукт та специфічні межі міграції для окремих складових елементів або сукупні специфічні межі міграції для груп складових елементів у/або на харчовий продукт з урахуванням інших можливих джерел потрапляння таких складових елементів тощо.

2. Виробництва, обігу та використання матеріалів і предметів; запроваджено державну реєстрацію та ведення державного реєстру речовин, що використовуються у виробництві матеріалів і предметів та процесів переробки пластику (повторного використання).

3. Вимог належної виробничої практики (GMP) під час виробництва матеріалів і предметів, які призначені для контакту з харчовими продуктами.

4. Забезпечення простежуваності матеріалів і предметів, що дасть змогу удосконалити вимоги державного контролю та відповідальності операторів ринку.

Групи матеріалів і предметів, які розглядаються в цьому Законі: активні матеріали і предмети; інтелектуальні матеріали і предмети; клеї; кераміка; корок; гума; скло; іонообмінні смоли; метали і сплави; папір і картон; пластик; друкарські фарби; регенована целюлоза; силікон; текстиль; лаки і покриття; віск; деревина.

Папір і картон є другим найбільш використовуваним типом пакувальних матеріалів (Baričević, & Konjarik, 2022), які контактують з харчовими продуктами в ЄС і поступаються лише полімерним матеріалам. Стратегія Комісії щодо пластмас і нещодавнє рішення заборонити певні одноразові пластики призвели до збільшення виробництва використання різних паперових виробів, у тому числі отриманих із перероблених матеріалів. Папір і картон, виготовлені з вторинної сировини, волокна можна використовувати як первинний матеріал, якщо вони походять із переробленого паперу та картону спеціальної якості, які були піддані відповідному обробленню й очищенню. Кінцевий продукт повинен супроводжуватися декларацією про відповідність, а вся сировина, в тому числі друкарські фарби та клеї, повинні мати сертифікати, які підтверджують її придатність для контакту з харчовими продуктами. В ЄС законодавча база для паперу та картону, що контактують з харчовими продуктами, не є унікальною, що є проблемою для операторів ринку та органів влади. Зокрема, поточне європейське законодавство під час порівняння з вимогами національного хорватського законодавства виявляє ряд невідповідностей для паперових матеріалів, які контактують з харчовими продуктами. Отже, існує потреба у комплексному, узгодженому регулюванні паперу та картону на основі запобіжного підходу, від державних регулюючих органів до промисловості, покращення правозастосування та підвищення прозорості для споживачів.

У (Podd, 2022) також аналізуються папір і картон, призначені для контакту з харчовими продуктами. Автор зауважує, що зазначені матеріали підпорядковуються різним системам регулювання по всьому світу. Статус регулюючих інструментів може змінюватись від закону до рекомендації або керівництва, але мета, як правило, одна і та ж, тобто захист якості харчових продуктів та здоров'я споживача. У нормативно-правових документах враховується, що виробничий процес використовує як основне середовище воду, кінцевий продукт є неоднорідним, пористим і абсорбуючим, а упаковані харчові продукти повинні бути сухими. Вологовмісні харчові продукти можуть бути упаковані за умови, що властивості паперу та картону змінені, зокрема за рахунок комбінації з плівкою або фольгою. Нормативні документи, що використовуються для цих матеріалів, визначають спосіб виробництва паперових і картонних виробів, сировину, спосіб контролю якості та безпечності кінцевого продукту та маркування з метою гарантування безпечності під час контакту з харчовими продуктами. Нормативно-правова база розглядає компоненти (сировину) в кожному конкретному випадку і підтверджують їх прийнятність для використання в контакт з харчовими про-

дуктами за допомогою включення до переліку дозволеного або відсутність заборон на використання, ліцензій або повідомлень, які можуть бути обов'язковими або добровільними. Правила постійно оновлюються та розробляються в багатьох країнах і регіонах, саме тому необхідно постійно відслідковувати зміни.

У 2022 р. екологічні проблеми як на рівні країни, так і у світі відійшли на другий план. Проте проблема використання надлишкової кількості полімерних матеріалів залишається актуальною. Саме тому біопластик (Dages, 2022) стає все більш популярним і користується попитом у харчовій промисловості, а також у споживачів. Теперішня підвищена популярність і попит викликані широким бажанням представити та використовувати матеріали, що контактують з харчовими продуктами, які можуть бути більш екологічними, ніж звичайні пластики. У (Dages, 2022) чітко визначено термін «біопластик» і наведено приклади та проаналізовано законодавчо-правову базу біопластиків, які контактують з харчовими продуктами.

Традиційними біорозкладальними матеріалами є матеріали на основі целюлози, проте також необхідно враховувати вплив технології виготовлення на довкілля і вплив речовин, що утворилися в процесі компостування. Плівки та оболонки з регенованої целюлози (Ariosti, 2022), призначені для контакту з харчовими продуктами, широко застосовувалися аж до 1960-х років, коли їх почали масово замінювати поліетиленовими плівками та, відповідно, фіброзними, колагеновими та пластиковими оболонками. У (Ariosti, 2022) проаналізовано інформацію щодо матеріалів з регенованої целюлози. Однак натеper залишається кілька харчових добавок, і в останні десятиліття було проведено дослідження міграції компонентів у харчові продукти. Автори представили результати аналізу нормативних документів щодо матеріалів з регенованої целюлози у кількох юрисдикціях (наприклад, Австралії, Новій Зеландії, Канаді, Китаї, Колумбії, ЄС, Японії, Кореї, Швейцарії, Туреччині, Великій Британії, США). Крім того, автори також навели останні розробки в галузі антимікробних активних харчових пакувальних матеріалів із регенованої целюлози. Відродження традиційних і нових типів регенованої целюлози в харчових продуктах залишається відкритим питанням для обговорення.

Окремо розглядається аспект нормативних документів і розробок щодо покриттів банок (Baughan, 2022), що контактують з харчовими продуктами. Так, у Сполучених Штатах до окремої нормативно-правової бази потрапляють покриття для матеріалів, що контактують з харчовими продуктами.

Окремим сегментом у сфері пакувальної індустрії є активні та інтелектуальні пакувальні матеріали. У (Dages, 2022) детально проаналізовано категорію «активних та інтелектуальних пакувальних матеріалів», які контактують з харчовими продуктами. Дослідник чітко надав визначення «активних та інтелектуальних пакувальних матеріалів», також зазначив, що подібні матеріали регулюються різними юрисдикціями в усьому світі. Особливий акцент щодо законодавства наведений на прикладі ЄС, оскільки саме в ЄС існує спеціальне законодавство, присвячене цій категорії матеріалів. Крім того, автор навів дещо унікальні регуляторні та юрисдикційні проблеми, які іноді виникають у зв'язку з використанням активних та інтелектуальних пакувальних матеріалів у контакті з харчовими продуктами.

Зазначений закон набирає чинності 19.11.2025, тому в операторів ринку є час на адаптацію до нових умов. ІС як показує європейський досвід (Trubetskaya, Scholten, & Corredig, 2022), аспекти пакування більше залежать від політики та мислення зацікавлених сторін, ніж від технічних аспектів. Крім того, не потрібно забувати і про інновації в упаковці для переходу до стійких продовольчих систем (Molina-Besch, & Olsson, 2022).

У 2021 р. Спільна нарада з питань залишків пестицидів (JMPR) оцінила 38 активних речовин з точки зору їх токсикологічних властивостей та/або встановлення граничних рівнів залишкового вмісту Кодексу (CXL, EFSA (European Food Safety Authority), 2022). Продаж пестицидів та їх залишків у країнах, що розвиваються, які заборонені в ЄС чи США, викликає велике занепокоєння. Наявні дані (Kubiak-Hardiman та ін., 2022) свідчать про те, що необхідно підвищувати поінформованість фермерів щодо використання та захисту пестицидів, особливо у зв'язку з тим, що зміна клімату впливає на моделі використання пестицидів та їх біоефективність. З метою упорядкування аспектів поводження з пестицидами прийнято Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо вдосконалення державного регулювання у сфері поводження з пестицидами і агрохімікатами» від 16.11.2022 № 2775-IX, що дало змогу наблизити законодавство України до законодавства ЄС у санітарних і фітосанітарних сферах. Запроваджено європейські вимоги до пакування та маркування пестицидів з метою мінімізації можливості їх помилкового прийняття за харчовий продукт, напій, ліки або корм за рахунок уточнення вимог до етикетки. Посилено боротьбу з фальсифікатом, зокрема заборонено ввезення на територію України пестицидів та агрохімікатів фізичними особами для власних потреб, що нині є одним з основних каналів потрапляння фальсифікату в країну. Зазначений закон набирає чинності 28.06.2023, тому в операторів ринку є час на адаптацію до нових умов.

На захист авторських прав прийнятий Закон України «Про географічні зазначення спиртних напоїв» від 01.12.2022 № 2800-IX, що дав змогу імплементувати в українське законодавство Регламент ЄС № 2019/787. Закон закріплює правову охорону географічних зазначень спиртних напоїв, що унеможливорює неправомірне використання зареєстрованих географічних зазначень спиртних напоїв. На ринку України присутній широкий асортимент національних алкогольних напоїв різних країн світу, тому правове регулювання є необхідним. Зазначений закон набирає чинності 29.12.2024.

Стаття 58 Угоди про Асоціацію між Україною та ЄС зобов'язує Україну упорядкувати вимоги щодо маркування та етикетування. У 2018 р. був прийнятий Закон України «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів», який набрав чинності у серпні 2021 року. Проте прийняття ряду інших законів обумовили зміни і в цьому Законі. В редакції від 06.09.2022, підстава № 2572-IX, змінено пункт 2 розділу VI «Прикінцеві та перехідні положення», які пов'язані з воєнним станом в країні, тому харчові продукти, маркування на яких не відповідає вимогам цього закону, але термін придатності яких не сплинув, можуть перебувати в обігу. В редакції від 20.11.2022, підстава №2718-IX, статтю 1 було доповнено термінами «рибні продукти», «рибоморозильне судно», «рибопромислове судно». Статтю 6 доповнено пунктом 13 такого змісту: «позначення, що ідентифікує партію (лот), до якої (якого) належить харчовий продукт» і розділ III

доповнити статтею про позначення, що ідентифікує партію (лот), до якої (якого) належить харчовий продукт, яка деталізує умови щодо позначення партії на продукції. Варто зауважити, що згідно з пунктом 9 позначення партії не є обов'язковим «якщо етикетка (стікер) уже містить інформацію про мінімальний термін придатності харчового продукту або дату «вжити до...», що складається щонайменше з дня і місяця у зазначеному порядку та у незакодованій формі». Редакція від 20.11.2022 містить також зміни, які стосуються відповідальності за порушення законодавства про матеріали і предмети, призначені для контакту з харчовими продуктами, також доповнені додатки щодо матеріалів та предметів, які контактують з харчовими продуктами. Варто зазначити, що в цьому законі зазначені вимоги щодо позначення ГМО, проте питання ГМО і досі є дискусійним на законодавчому рівні в ЄС. Різні спроби розв'язати цю напруженість правовими та регулюючими засобами створили громіздку та заплутану систему регулювання ГМО культур у світі (Garcia-Alonso та ін., 2022; Xu, Brynjolfsson, & Fu, 2022).

Прийнятий закон передбачає маркування щодо кількості вмісту солі з метою обмеження щоденного споживання цієї речовини. Доцільність зменшення споживання солі підтвердили автори (Goiana-da-Silva та ін., 2022) на прикладі хліба.

Дотримання норм зазначеного закону дасть змогу уникнути помилок під час маркування, які, на думку авторів (Loeffler та ін., 2022), можуть мати небезпечні наслідки на здоров'я людей. Так, за повідомленням RASFF 2017.0345, випадок трапився 3 березня 2017 р. в Гарміш-Партенкірхені (Південна Німеччина), де пацієнт був госпіталізований до місцевої лікарні. Згідно зі списком постачальників (Loeffler та ін., 2022) до цього міста було доставлено 20 кг морепродуктів. Ще десять випадків було зареєстровано у тому ж районі Баварії (Південна Німеччина). Отже, спочатку передбачалося, що спалах сигуатери обмежиться цим південнонімецьким регіоном. Через масштаби спалаху оптовик провів кампанію відкликання, і завдяки цим зусиллям інші постраждали самі повідомили про симптоми до органів охорони здоров'я Німеччини. Крім того, пацієнти з трьох різних регіонів (пізніше визначених, як кластери) повідомили про себе на спеціально створену гарячу лінію. Загалом, було відомо, що у 16 пацієнтів з харчовим отруєнням були симптоми, характерні як після вживання риби з маркуванням «Червоний люціан» у березні 2017 р. (тут назва «Червоний люціан» у лапках вказує на хибну або неправильно позначену назву). Таким чином, ланцюжок поставок морепродуктів повинен відповідати Регламенту (ЄС) № 178/2002, яка передбачає, що якщо будь-яка частина партії чи партії харчових продуктів визнана небезпечною, то передбачається, що всі харчові продукти в цій партії також небезпечні, якщо після детальної оцінки не буде доведена відсутність доказів того, що решта партії, чи вантажу небезпечна, а також інспектори та уряд можуть не бути повною мірою обізнані про сигуатеру як потенційний ризик у продуктах з неправильним маркуванням. Дотримання існуючої нормативно-правової бази для законодавства про маркування може захистити споживачів і, отже, вказує на необхідність суворішого дотримання законодавства ЄС про маркування. Це дослідження показало безпосередній зв'язок між харчовим продуктом, неправильним маркуванням риби та виявленням у ній збудника, що було вперше продемонстровано в Німеччині.

Змін також зазнав і Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів». В редакції від 28.07.2022, підстава № 2468-IX, доповнено статтю 23 щодо експлуатаційного дозволу, статтю 25 щодо умов приватизації; визначено терміни «паростки», «первинне виробництво», «переробка», «перероблений харчовий продукт»; деталізовано вимоги до простежуваності тощо.

Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо приведення законодавства України у сфері забезпечення дитячим харчуванням у відповідність з вимогами законодавства Європейського Союзу» від 21.10.2021 № 1822-IX (чинний з травня 2022 р.). Зважаючи на це, втратив чинність Закон України «Про дитяче харчування». Закон конкретизує визначення «вода для дитячого харчування», «дитяче харчування», «продукт прикорму» тощо. Також заборонено використання певних інгредієнтів; визначено відповідальність за порушення законодавства про харчові продукти під час виробництва та обігу дитячого харчування, маркування дитячого харчування тощо.

Дещо опосередковано стосується безпечності харчових продуктів Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо приведення законодавства у сфері охорони прав на сорти рослин та насінництва і розсадництва у відповідність із положеннями законодавства Європейського Союзу» від 16.11.2022 № 2763-IX.

Закон України «Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин» від 18.05.2017 № 2042-VIII також змінено впродовж 2022 року. В редакції від 01.04.2022, підстава № 2173-IX, змінено умови для державного контролю на період до припинення або скасування воєнного, надзвичайного стану в Україні. В редакція від 12.05.2022, підстава № 2246-IX, наведено вимоги щодо митного контролю впродовж трьох років з дня припинення або скасування воєнного стану. Редакції від 03.11.2022, підстава № 2718-IX, доповнено визначеннями «рибні продукти», «рибоморозильне судно», «рибопромислове судно»; змінено редакцію поняття «оператор ринку».

З метою забезпечення простежуваності харчових продуктів тваринного походження прийнято наказ Мінагрополітики України «Про затвердження вимог до ідентифікаційної позначки та порядку її нанесення» від 14.09.2022 № 684, який набере чинності через два роки з дня припинення або скасування воєнного стану.

З метою деталізації вимог і критеріїв придатності молока, яке може використовуватися для споживання людиною, та поводження з молоком, яке не відповідає вимогам цього наказу, прийнято наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України «Про внесення змін до наказу Міністерства аграрної політики та продовольства України від 12 березня 2019 року № 118» від 22.08.2022 № 595, чинний з 30.09.2022. Крім того, удосконалено заходи щодо належної виробничої практики виробництва та обігу молока; запроваджено чіткі механізми щодо проведення лабораторних досліджень (випробувань).

Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання проведення заходів державного контролю за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин, державного ветеринарно-санітарного контролю і ввезення вантажів на митну

територію України у період воєнного стану» від 07.05.2022 № 537 упорядковує вимоги щодо митного контролю на період воєнного стану.

З метою упорядкування документального оформлення результатів державного контролю у формі інспектування прийнятий наказ Міністерства економіки України «Про затвердження форм актів, складених за результатами проведення планових (позапланових) заходів державного контролю (інспектування) стосовно дотримання операторами ринку вимог законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин, та інших форм розпорядчих документів» №143-22 від 21.01.2022.

Авторами статті (Kasianchuk et al., 2022) встановлено, що успіх у боротьбі з поширенням харчових отруєнь залежить від ефективності харчового законодавства, яке має сприяти забезпеченню безпечності харчових продуктів, підтримувати операторів ринку та забезпечувати ефективну важелі контролю до офіційних інспекційних органів (Baranovych, & Drok, 2017).

Щодо змін, на які можна очікувати в законодавстві у сфері безпечності харчових продуктів, то нині на розгляді у Верховній Раді України знаходяться проєкт Закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення вимог законодавства про харчові продукти, корми, ветеринарну медицину та благополуччя тварин» № 8150 від 24.10.2022; проєкт Закону України «Про внесення змін до Кодексу України про адміністративні правопорушення щодо посилення відповідальності у сфері обігу окремих видів харчових продуктів» № 8114 від 06.10.2022; проєкт Закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо покращення обігу окремих видів харчових продуктів» № 8113 від 06.10.2022; проєкт Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення державного регулювання у сферах забезпечення безпечності та окремих показників якості харчових продуктів, ветеринарної медицини та благополуччя тварин, а також державного контролю у зазначених сферах» № 8145 від 21.10.2022; проєкт Закону України «Про внесення змін до Кодексу України про адміністративні правопорушення щодо посилення відповідальності у сфері поводження з генетично модифікованими організмами» №5840 від 05.08.2021. Варто також зазначити, що окремо потребують законодавчого врегулювання вимог до продуктів-сурогатів (аналогів) за прикладом інших країн (Zhang та ін., 2022). Також перспективним напрямом є надруковані на 3D-принтері харчові продукти, які на сьогодні не виокремлені в окрему групу згідно з українським законодавством. 3D-друк харчових продуктів слід розглядати як можливість розроблення нових бізнес-стратегій, і навіть спосіб підвищити стійкість ланцюжка поставок продуктів. Майбутні перспективи 3D-друку харчових продуктів включають поєднання 3D-друку харчових продуктів та приготування їжі на одній машині, а також розвиток 4D-друку, що також вимагає законодавчого упорядкування (Baiano, 2022).

Альберт Ейнштейн колись сказав: «Ми не можемо вирішити наші проблеми за допомогою того самого мислення, яке ми використовували, коли ми їх створювали». Тому для того, щоб законодавство України відповідало вимогам ЄС, операторам ринку України необхідно змінити підходи до сприйняття та реалізації вимог законодавства. Взірцем повинні стати представники державних структур і винятків не повинно бути взагалі. Гармонізація українського законодавства

відбувається успішно, проте це лише половина справи, найбільш складним є реалізація норм законів на практиці, а для цього потрібна перш за все людська порядність та критичне ставлення до своїх дій від кожного громадянина України. Закони повинні проходити громадське обговорення в установленому порядку, а прийняті закони підлягають лише безкомпромісному виконанню.

Висновки

Отже, законодавчі зміни у сфері безпечності харчових продуктів обумовлені необхідністю виконання вимог Угоди про асоціацію між Україною та ЄС та теперішнім воєнним станом у державі. Аналіз змін, які було зроблено у 2022 р., показав, що більш ретельно упорядковано норми простежуваності за рахунок введення позначок для харчових продуктів тваринного походження та вимог до маркування. Крім того, прийняття закону щодо матеріалів і предметів, які контактують з харчовими продуктами, дасть змогу знизити ризик небезпеки щодо міграції шкідливих речовин у харчові продукти. Постійне оновлення асортименту харчових продуктів та пакувальних матеріалів і тари для них та методів дослідження їх якості і безпечності буде обумовлювати зміни харчового законодавства.

Література

Білоусько, Т. Ю., Шовкун, Л. В., Білоусько, Р. С. (2019). Правові засади менеджменту якості та безпеки використання сільськогосподарської сировини і продуктів харчування в Україні в процесі євроінтеграції. *Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва*, 1(4), 388—398. DOI: <https://doi.org/10.31359/2312-3427-2019-4-1-388>.

Галкіна, О. М. (2017). Сучасний стан нормативно-правового забезпечення безпечності та якості харчових продуктів в Україні. *Науковий вісник публічного та приватного права*, 1, 60—64. Взято з <https://univd.edu.ua/science-issue/scientist/61>.

Дубова, Н. Ф. (2014). Аналіз законодавства України з питань безпеки та якості харчових продуктів (огляд літератури). *Гігієна населених місць*, 64, 241—249. Взято з <http://lib.inmeds.com.ua:8080/jspui/handle/lib/1071>

Іванова, Г. С. (2018). Удосконалення норм законодавства України у сфері агропромислового комплексу щодо закріплення контрольних функцій суб'єктів АПК. *Право та інноваційне суспільство*, 1(10), 45—52. Взято з <https://www.apir.org.ua/index.php/lais/article/view/198>.

Карпінська, Н. (2020). Правові особливості розвитку законодавства України про санітарні та фітосанітарні заходи на етапі гармонізації із законодавством ЄС. *Підприємство, господарство і право*, 12, 115—120. DOI: <https://doi.org/10.32849/2663-5313/2020.12.19>.

Карпінська, Н. В. (2020). Специфіка розвитку законодавства на етапі підготовки до вступу України до СОТ та гармонізації з її вимогами у сфері застосування санітарних та фітосанітарних заходів. *Науковий вісник міжнародного гуманітарного університету*, 45, 102—105. DOI: <https://doi.org/10.32841/2307-1745.2020.45.22>.

Пустовіт, О. Ю. (2017). Трансформація законодавства та повноважень органів державного управління у сфері якості та безпечності харчових продуктів — сучасний етап. *Юридичний вісник*, 2(1(16)), 146—149. Взято з http://www.pjv.nuoua.od.ua/v1-2_2017/35.pdf.

Сокур, Т. (2018). Правові аспекти безпечності харчових продуктів в Україні. *Право і суспільство*, 1, 148—153. Взято з http://pravoisuspilstvo.org.ua/archive/2018/1_2018/part_1/28.pdf.

Теремецький, В. І. (2016). Шляхи вдосконалення законодавства щодо забезпечення безпечності та якості харчових продуктів в Україні. *Вісник Луганського державного університету внутрішніх справ імені ЕО Дідоренка*, 3(75), 201—209. Взято з <https://journal.lduvs.lg.ua/index.php/journal/article/view/521>.

Трагнюк, О., Мірошник, О., & Кутнякова, А. (2022). Виклики та реформування сфери продовольчої безпеки в умовах поглиблення європейської інтеграції України. *Наука і техніка сьогодні*, 13(13), 91—103. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2022-13\(13\)-91-103](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2022-13(13)-91-103).

Шишлоу, В. Р. (2021). Розвиток законодавства України у сфері забезпечення продовольчої безпеки після проголошення незалежності України: проблеми й перспективи. *Південноукраїнський правничий часопис*, 1(3), 8—14. DOI: <https://doi.org/10.32850/sulj.2021.3.1.2>.

Ariosti, A. (2022). Global legislation for regenerated cellulose materials in contact with food. In *Global Legislation for Food Contact Materials*, 51—98. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821181-6.00002-8>.

Baiano, A. (2022). 3D printed foods: A comprehensive review on technologies, nutritional value, safety, consumer attitude, regulatory framework, and economic and sustainability issues. *Food Reviews International*, 38(5), 986—1016. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1762091>.

Baranovych, M., & Drok, T. (2017). New rules of state control over food and feed in Ukraine: Perspectives for business. *Eur. Food & Feed L. Rev.*, 12, 499. Взято з <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/effl2017&div=91&id=&page=>.

Baranovych, M., & Ocheretko, Y. (2017). Harmonization of Ukrainian Food Safety Legislation with EU Law. *Eur. Food & Feed L. Rev.*, 12, 37. Взято з <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/effl2017&div=9&id=&page=>.

Baričević, L., & Konjarik, J. (2022). Compliance of paper and board in contact with foodnational and EU legislation. *Arhiv Za Higijenu Rada i Toksikologiju*, 73, 20-25. Взято з <https://www.proquest.com/openview/aa17500f4faeaf59492e4517177050f2/1?pq-origsite=gscholar&cbl=105786>.

Baughan, J. S. (Ed.). (2022). *Global legislation for food contact materials*. Woodhead Publishing. Взято з [https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=fZxBEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Baughan,+J.+S.+\(Ed.\).+\(2022\).+Global+legislation+for+food+contact+materials.+Woodhead+Publishing&ots=F9OsKEcFMR&sig=d9k0MC2deVxfF9CNEw3fjx2cBPU&redir_esc=y#v=onepage&q=Baughan%2C%20J.%20S.%20\(Ed.\).%20\(2022\).%20Global%20legislation%20for%20food%20contact%20materials.%20Woodhead%20Publishing&f=false](https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=fZxBEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Baughan,+J.+S.+(Ed.).+(2022).+Global+legislation+for+food+contact+materials.+Woodhead+Publishing&ots=F9OsKEcFMR&sig=d9k0MC2deVxfF9CNEw3fjx2cBPU&redir_esc=y#v=onepage&q=Baughan%2C%20J.%20S.%20(Ed.).%20(2022).%20Global%20legislation%20for%20food%20contact%20materials.%20Woodhead%20Publishing&f=false).

Baughan, J. S. (2022). Legislation for food contact coatings outside the USA. In *Global Legislation for Food Contact Materials*, 171—179. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821181-6.00007-7>.

Čapla, J., Zajác, P., Ševcová, K., Čurlej, J., & Fikselová, M. (2022). Milk and dairy products-summary of European legislation, hygiene manuals, ISO standards and Codex Alimentarius standards. *Slovak Journal of Food Sciences*, 16, 431—462. DOI: <https://doi.org/10.5219/1744> ISSN: 1337-0960.

Chieffi, D., Fanelli, F., & Fusco, V. (2022). Legislation of probiotic foods and supplements. In *Probiotics for Human Nutrition in Health and Disease*, 25-44. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89908-6.00013-3>

Dages, J. M. (2022). Bioplastics chapter for global legislation for food contact materials. In *Global Legislation for Food Contact Materials*, 181—191. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821181-6.00006-5>.

Dages, J. M. (2022). Active and intelligent packaging materials chapter for global legislation for food contact materials book. In *Global Legislation for Food Contact Materials*, 203—209. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821181-6.00005-3>.

EFSA (European Food Safety Authority). (2022). Scientific support for preparing an EU position in the 53rd session of the codex committee on pesticide residues (CCPR). *EFSA Journal*, 20(9), e07521. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7521>.

Fallico, B., Arena, E., Verzera, A., & Zappalà, M. (2006). The European Food Legislation and its impact on honey sector. *Accreditation and Quality Assurance*, 11, 49—54. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00769-006-0128-6>.

Fortin, N. D. (2022). *Food regulation: law, science, policy, and practice*. John Wiley & Sons. Взято з [https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=TcZ6EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA23&dq=Fortin,+N.+D.+\(2022\).+Food+regulation:+law,+science,+policy,+and+practice.+John+Wiley+%26+Sons.&ots=OB7H4L5uHG&sig=r5SX5t3LUInFO8KWzewiOJrN940&redir_esc=y#v=onepage&q=Fortin%2C%20N.%20D.%20\(2022\).%20Food%20regulation%3A%20law%2C%20science%2C%20policy%2C%20and%20practice.%20John%20Wiley%20%26%20Sons.&f=false](https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=TcZ6EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA23&dq=Fortin,+N.+D.+(2022).+Food+regulation:+law,+science,+policy,+and+practice.+John+Wiley+%26+Sons.&ots=OB7H4L5uHG&sig=r5SX5t3LUInFO8KWzewiOJrN940&redir_esc=y#v=onepage&q=Fortin%2C%20N.%20D.%20(2022).%20Food%20regulation%3A%20law%2C%20science%2C%20policy%2C%20and%20practice.%20John%20Wiley%20%26%20Sons.&f=false).

Garcia-Alonso, M., Novillo, C., Kostolaniova, P., Martinez Parrilla, M., Alcalde, E., & Podevin, N. (2022). The EU's GM crop conundrum: Did the EU policy strategy to convert EFSA GMO guidance

into legislation deliver on its promises? *EMBO reports*, 23(5), e54529. DOI: <https://doi.org/10.15252/embr.202154529>.

Goiana-da-Silva, F., Rito, A., Lopes, C., Muc, M., Darzi, A., Araújo, F., ... & Allen, L. N. (2022). Modeling the health impact of legislation to limit the salt content of bread in Portugal: A macro simulation study. *Frontiers in public health*, 10, Режим доступу <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2022.876827/full>. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.876827>.

Kasianchuk, Victoria, et al. (2022). Significance of the level of implementation of food legislation and the food safety management system in Ukraine for the dynamics of the spread of food poisoning (retro analysis). *EUREKA: Life Sciences*, 4, 35—47. Взято з <http://journal.eu-jr.eu/life/article/view/2629>.

Keener, L., & Koutchma, T. (2022). Capacity building: harmonization and achieving food safety in an era of unilateral legislation. In *Ensuring Global Food Safety*, 489—502. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816011-4.00025-2>.

Kubiak-Hardiman, P., Haughey, S. A., Meneely, J., Miller, S., Banerjee, K., & Elliott, C. T. (2022). Identifying Gaps and Challenges in Global Pesticide Legislation that Impact the Protection of Consumer Health: Rice as a Case Study. *Exposure and Health*, 1—22. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12403-022-00508-x>.

Koca, N., Erbay, Z., & Öztürk, M. U. (2022). Regulations and legislations on processed cheese. In *Processed Cheese Science and Technology*, 449—490. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821445-9.00004-2>.

Leialohilani, A., & de Boer, A. (2020). EU food legislation impacts innovation in the area of plant-based dairy alternatives. *Trends in Food Science & Technology*, 104, 262—267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.021>.

Loeffler, C. R., Spielmeier, A., Friedemann, M., Kapp, K., Schwank, U., Kappenstein, O., & Bodi, D. (2022). Food safety risk in Germany from mislabeled imported fish: ciguatera outbreak trace-back, toxin elucidation, and public health implications. *Frontiers in Marine Science*, 9, 355. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.849857>.

Molina-Besch, K., & Olsson, A. (2022). Innovations in food packaging — Sustainability challenges and future scenarios. B *Future Foods* (pp. 375—392). Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91001-9.00039-6>.

Onul, K., & Pastovenska, Z. (2022). Flexibility of the EU package: lessons for Ukraine and other countries when harmonizing food legislation in view of the production of traditional food. In *Nutritional and Health Aspects of Traditional and Ethnic Foods of Eastern Europe*, 251—264. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811734-7.00007-4>.

Pettoello-Mantovani, C., & Olivieri, B. (2022). Food safety and public health within the frame of the EU legislation. *Global Pediatrics*, 2, 100020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gped.2022.100020>.

Podd, B. (2022). Paper and paperboard. In *Global Legislation for Food Contact Materials* (pp. 99—121). Woodhead Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821181-6.00004-1>.

Sbardelotto, P. R., Balbinot-Alfaro, E., da Rocha, M., & Alfaro, A. T. (2022). Natural alternatives for processed meat: Legislation, markets, consumers, opportunities and challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1—16. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2081664>.

Trubetskaya, A., Scholten, P. B. V., & Corredig, M. (2022). Changes towards more sustainable food packaging legislation and practices. A survey of policy makers and stakeholders in Europe. *Food Packaging and Shelf Life*, 32, 100856. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100856>.

Wijnands, J. H., Bremmers, H. J., van der Meulen, B. M., & Poppe, K. J. (2011). Food Legislation and Competitiveness in the EU Food Industry. In *Institutions and regulation for economic growth?* DOI: <https://doi.org/10.4337/9781781000953.00014>.

Xu, W., Brynjolfsson, S., & Fu, W. (2022). Use of Genetically Modified Algae: Consumption Safety Challenges, Current Legislations, and Socio-economic and Environmental Concerns. In *Microalgae for Sustainable Products*, 178—190. DOI: <https://doi.org/10.1039/9781839167508-00178>.

Zhang, K., Zang, M., Wang, S., Zhang, Z., Li, D., & Li, X. (2022). Development of meat analogs: Focus on the current status and challenges of regulatory legislation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13098>.

WAYS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGIES FOR THE SYNTHESIS OF MICROBIAL EXOPOLYSACCHARIDES. PART 2. IMPROVEMENT OF PRODUCER STRAINS BY METHODS OF METABOLIC AND GENETIC ENGINEERING

T. Pirog, A. Voronenko

National University of Food Technologies

Key words:

*Microbial
exopolysaccharides
Recombinant producers
Intensification of
biosynthesis
Modification of
composition and
properties*

Article history:

Received 07.03.2023

Received in revised form
23.03.2023

Accepted 06.04.2023

Corresponding author:

T. Pirog

E-mail:

tapirog@nuft.edu.ua

ABSTRACT

In recent decades, methods of metabolic and genetic engineering have been used to increase synthesis indicators, as well as to regulate the composition and functional characteristics of microbial exopolysaccharides. Metabolic engineering techniques are used to analyze the producer's metabolic pathways, determine potential limiting reactions ("bottlenecks" of metabolism) and their impact on the synthesis of the final product, followed by the use of genetic engineering tools to eliminate these limitations.

One of the strategies to increase exopolysaccharides synthesis indicators is to direct metabolism to the biosynthesis of the final product by eliminating competing metabolic pathways. Quite often, the "bottleneck" of polysaccharides synthesis is an insufficient level of nucleoside diphosphate saccharides. That's why another approach to intensifying biosynthesis is to increase the pool of nucleoside diphosphate derivatives in producer cells. Increasing the expression of key genes of polysaccharide biosynthesis allows to increase exopolysaccharides synthesis indicators several times. The use of genetic engineering methods also makes it possible to design producers with a full cycle of synthesis of practically valuable biopolymers that are not characteristic of them.

The analyzed literature data on the improvement of microbial polysaccharides producers by methods of metabolic and genetic engineering indicate that the synthesis indicators of the final product by recombinant microorganisms are 2—20 times higher than the original strains. In addition, recombinant producers are able to synthesize polysaccharides of different composition and molecular weight, which allow to regulate their rheological properties depending on the field of practical application.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ СИНТЕЗУ МІКРОБНИХ ЕКЗОПОЛІСАХАРИДІВ. ЧАСТИНА 2. УДОСКОНАЛЕННЯ ШТАМІВ-ПРОДУЦЕНТІВ МЕТОДАМИ МЕТАБОЛІЧНОЇ ТА ГЕНЕТИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Т. П. Пирог, А. А. Вороненко

Національний університет харчових технологій

Упродовж останніх десятиліть для підвищення показників синтезу, а також регуляції складу та функціональних характеристик мікробних екзополісахаридів використовуються методи метаболічної та генетичної інженерії. Прийоми метаболічної інженерії застосовуються для проведення аналізу метаболічних шляхів продуцента, визначення потенційних лімітуючих реакцій («вузьких» місць метаболізму) та їх впливу на синтез цільового продукту з подальшим використанням інструментарію генетичної інженерії для усунення цих обмежень.

Однією зі стратегій підвищення показників синтезу є спрямування метаболізму на біосинтез цільового продукту за рахунок усунення конкуруючих метаболічних шляхів. Доволі часто «вузьким місцем» біосинтезу полісахаридів є недостатній рівень нуклеозиддифосфатсахаридів, тому ще один підхід до інтенсифікації біосинтезу полягає в підвищенні у клітинах продуцента пулу нуклеозиддифосфат-похідних. Підвищення рівня експресії ключових генів біосинтезу полісахаридів дає змогу підвищити показники синтезу в кілька разів. Застосування методів генетичної інженерії надає можливість також конструювати продуценти з повним циклом синтезу невластивих їм практично цінних біополімерів.

Проаналізовані літературні дані щодо вдосконалення продуцентів мікробних полісахаридів методами метаболічної та генетичної інженерії свідчать про те, що показники синтезу цільового продукту рекомбінантними мікроорганізмами в 2—20 разів вищі, ніж вихідні штами. Крім того, рекомбінантні продуценти здатні синтезувати полісахариди різного складу і молекулярної маси, що дає змогу регулювати їхні реологічні властивості залежно від галузі практичного застосування.

Ключові слова: мікробні екзополісахариди, рекомбінантні продуценти, інтенсифікація біосинтезу, модифікація складу і властивостей.

Постановка проблеми. У нещодавно опублікованому огляді (Пирог, & Вороненко, 2023) ми зазначали, що натепер відкрито та досліджено значну кількість мікробних екзополісахаридів (ЕПС) з різноманітними фізико-хімічними та біологічними властивостями, проте лише деякі виробляються у промисловому масштабі. Організація виробництва нових полімерів, навіть з унікальними властивостями, часто стримується високою собівартістю та недостатньо високою концентрацією цільового продукту. Основними шляхами вирішення цих проблем є використання дешевих субстратів, підвищення ефективності їх конверсії в цільовий продукт і проведення загальної оптимізації процесу біосинтезу (Пирог, & Вороненко, 2023).

Крім того, одним із визначальних факторів, що безпосередньо впливає на синтез мікробних полісахаридів, є генетична «природа» продуцента — унікальна характеристика певного ЕПС-синтезуючого штаму (Schmid, Sieber, & Rehm, 2015; Sun, & Zhang, 2021). Зважаючи на це, вплив на рівні генів є потужним інструментом для інтенсифікації синтезу та модифікації властивостей ЕПС.

Мета статті: узагальнення даних літератури про використання методів метаболічної та генетичної інженерії для підвищення показників синтезу, а також регуляції складу і функціональних характеристик мікробних екзополісахаридів.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження стали наукові публікації зарубіжних учених у провідних періодичних і спеціалізованих світових виданнях, що стосуються вдосконалення ЕПС-синтезуючих штамів методами метаболічної та генетичної інженерії.

Викладення основних результатів дослідження. *Основні підходи до регуляції метаболізму продуцентів мікробних полісахаридів.* Біосинтез мікробних екзополісахаридів є складним комплексним процесом, який розпочинається з поглинання субстрату, його трансформації в центральних метаболічних шляхах з утворенням попередників і закінчується синтезом та екскрецією полісахаридів (Freitas, Alves, & Reis, 2011; Donot, Fontana, Baccou, & Schorr-Galindo, 2012; Rana, & Upadhyay, 2020). Усі ці метаболічні перетворення каталізуються певними ферментами, що кодується відповідними генами. Пов'язані з синтезом ЕПС гени можна розділити на три основні групи (Rehm, 2010; Ates, 2015; Schmid, Sieber, & Rehm, 2015; Schmid, 2018; Schilling та ін., 2020): 1) гени, що беруть участь в активації та послідовному перетворенні субстратів на нуклеозиддифосфат-похідні вуглеводів, що є вихідними сполуками для біосинтезу ЕПС, а також в утворенні інших складових частин полісахаридів; 2) гени, відповідальні за синтез глікозилтрансфераз, що здійснюють перенесення активованих нуклеозиддифосфат-похідних вуглеводів до полісахаридного ланцюга; 3) гени, залучені до полімеризації полісахаридів та їх екскреції з клітин.

Переважає більшість генів, які відповідають за безпосередній синтез ЕПС, зазвичай, організовані у вигляді кластера, розміщеного на хромосомній або плазмідній ДНК (Rehm, 2010; Schmid, Sieber, & Rehm, 2015). Така організація генів, пов'язаних з синтезом екзополісахаридів, значно полегшує відкриття нових ЕПС-синтезуючих штамів і відповідних полісахаридних оперонів (Schmid, Sieber, & Rehm, 2015; Xiong та ін., 2022). Незважаючи на те, що оперони та шляхи синтезу мікробних полісахаридів відомі вже впродовж десятиліть, функції більшості цих генів, а також особливості відповідних регуляторних механізмів досі повністю не з'ясовані (Rehm, 2010; Becker, 2015; Schmid та ін., 2016; Anderson, Islam, & Prather, 2018). Окрім цього, рівень залучення певних генів у біосинтез цих полімерів може значною мірою відрізнятися в різних ЕПС-синтезуючих штамів, що зумовлює необхідність розробки індивідуальних підходів до вдосконалення продуцентів.

Вирішення цих проблем передбачає застосування підходів метаболічної інженерії для проведення аналізу метаболічних шляхів продуцента, визначення потенційних лімітуючих реакцій («вузьких» місць метаболізму) та їх впливу на синтез цільового продукту, з подальшим використанням інструментарію генетичної інженерії для усунення цих обмежень (Oesterle, Wuethrich, & Panke, 2017;

Sun, Zhang, 2021). При цьому доцільним є послаблення або повне усунення небажаних побічних реакцій чи конкуруючих метаболічних шляхів, що спрямовує потік вуглецю субстрату й енергетичного метаболізму на синтез ЕПС (Schilling та ін., 2020; Sun, & Zhang, 2021), а також унеможлиблює інгібування кінцевим продуктом (ретроінгібування) (Ruiz-Villafán та ін., 2021).

Модифікацію метаболізму можна здійснювати за рахунок впливу на рівні ферментів і регуляції їх активності експресією відповідних генів у рекомбінантних мікробних клітинах (Oesterle, Wuethrich, & Panke, 2017; Wang, Salem, & Sani, 2019). Для кожного ЕПС-синтезуючого штаму існує велика кількість можливих підходів для регулювання його метаболізму, проте, зазвичай, відсутнє всебічне розуміння того, які елементи підвищують або знижують ефективність цільових метаболічних шляхів. У той же час велика кількість метаболічних взаємодій мають нелінійний характер, що може призводити до непередбачуваних наслідків при налаштуванні якогось певного елемента метаболізму та зумовлює необхідність використання комплексного підходу до їх оптимізації. При цьому також не варто забувати про важливість встановлення для кожного продуцента індивідуальних оптимальних умов культивування (Freitas, Torres, & Reis, 2017; Barcelos, Vespermann, Pelissari, & Molina, 2020; Пирог, & Вороненко, 2023).

Спрямування метаболізму на біосинтез цільового продукту за рахунок усунення конкуруючих метаболічних шляхів. Біосинтез полісахаридів є енерговитратним процесом, який потребує безперервного надходження значної кількості вуглецю, що призводить до конкурування з основними шляхами конструктивного метаболізму за доступні джерела вуглецю та енергії (Rehm, 2010; Ates, 2015; Schmid, Sieber, & Rehm, 2015; Schmid, 2018; Schilling та ін., 2020). Таким чином, однією зі стратегій підвищення показників синтезу ЕПС є збільшення пулу вуглецю в клітинах продуцента або його перерозподілу в різних метаболічних шляхах.

У праці (Velmurugan, & Incharoensakdi, 2021) з метою підвищення синтезу ЕПС у ціанобактерій *Synechocystis* sp. PCC 6803 було порушено функціонування гену *glgC*, який кодує синтез глікозо-1-фосфатаденілтрансферази, що бере участь у синтезі глікогену, а також підвищено експресію гену *gpi* (кодує глікозо-6-фосфат ізомеразу). Такий підхід сприяв спрямуванню потоків вуглецю на синтез вуглеводних мономерів, що входять до складу ЕПС. Отриманий рекомбінантний штам $\Delta gpi\text{-}\Delta glgC$ синтезував 1,3 г/л ЕПС, який характеризувався підвищенням вмістом у його складі глюкози, галактози, ксилози, манози, рамнози, фукози та уоновних кислот порівняно з ЕПС вихідного штаму.

Інші дослідники (Nap та ін., 2021) використовували комплексний підхід для інтенсифікації синтезу коланової кислоти *Escherichiacoli* JM109(DE3). Спершу завдяки видаленню гену *waaF*, який відіграє ключову роль у синтезі ліпополісахариду, було частково порушено функціонування клітинної мембрани та створено стресові умови, в яких синтез коланової кислоти підвищувався майже в 6 разів. Далі встановлювали умови культивування отриманого рекомбінантного штаму, що забезпечують максимальний синтез ЕПС. Так, в оптимальних умовах культивування концентрація ЕПС досягала 1,9 г/л ЕПС, що у 12 разів більше, ніж синтезована вихідним штамом.

У праці (Li та ін., 2015, а) з метою підвищення показників синтезу ЕПС у

молочнокислих бактерій проводили клонування генів НАДН-оксидази *Streptococcus mutans* у *Lactobacillus casei* LC2W під контролем конститутивного промотора P₂₃. У рекомбінантного штаму LC-пох активність цього ферменту підвищувалася майже у 20 разів порівняно з такою у вихідного штаму, що супроводжувалось зниженням показників росту й утворенням лактату. Загалом, це сприяло додатковому спрямуванню вуглецю на синтез ЕПС, концентрація якого становила 0,2 г/л, що на 46% вище, ніж утворювана вихідним штамом. Ці ж автори в іншій праці (Li та ін., 2015, b) продемонстрували, що підвищення рівня експресії саме генів *пох* спричиняє найбільший вплив на синтез ЕПС штамом LC2W порівняно з іншими досліджуваними генами (*pfk*, *rfbB*, *galT*).

Ще одним прикладом підвищення показників синтезу ЕПС за рахунок усунення конкуруючих метаболічних шляхів є дослідження одночасного утворення полісахариду санксану та полі-3-гідроксибутирату штамом *Sphingomonas sanxanigenens* NX02 (Wu та ін., 2018). Незважаючи на різну локалізацію полімерів (полісахарид екзо-, а полі-3-гідроксибутират ендogenous), максимальний їх синтез досягався в однакових умовах культивування. Експерименти показали, що повне видалення гену *phbB*, який кодує ацетоацетил-КоАредуктазу (ключовий фермент синтезу полі-3-гідроксибутирату), супроводжувалося суттєвим зниженням синтезу ЕПС штамом NX02-dPHB. На наступному етапі цей штам піддавали плазмовому мутагенезу, в результаті якого концентрація синтезованого ним санксану підвищувалася до 21,2 г/л, що у 1,4 раза вище за показники синтезу вихідного штаму (14,9 г/л). Важливо, що мутантний штам NXdP характеризувався нижчим у три рази рівнем біомаси (3,1 г/л).

Не зі співавт. (He та ін., 2018) в результаті опромінення штаму *Bacillus subtilis* NJ509 іонами азоту отримали мутантний штам NJ308, який синтезує у процесі культивування на крохмалі у 5,4 раза більше ЕПС (3,41 г/л), ніж вихідний штам. Подальші дослідження показали, що в результаті мутагенезу було порушено експресію генів, які кодують ключові ферменти біосинтезу полісахариду.

Доволі часто «вузьким місцем» біосинтезу ЕПС є недостатній рівень нуклеозиддифосфатсахаридів (Wang, Salem, & Sani, 2019; Schilling та ін., 2020; Sun, & Zhang, 2021). Особливо актуальним такий стан речей є у грамнегативних бактерій, в яких ці попередники використовуються для синтезу полісахаридів зовнішньої мембрани. Отже, ще одна стратегія інтенсифікації біосинтезу ЕПС полягає у підвищенні в клітинах продуцента пулунуклеозиддифосфат-похідних.

Бактерії *Aureobasidium pullulans* одночасно з пулуланом синтезують ще один практично цінний полісахарид — β-глюкан. Для утворення обох полімерів використовується один і той самий попередник (уридиндифосфат-глюкоза). У результаті *Agrobacterium tumefaciens*-опосередкованої трансформації отримано штам *A. Pullulans* CGMCC 19650, здатний синтезувати на 78,6% більше β-глюкану, ніж вихідний штам CCTCC M 2012259 (Chen та ін., 2021). При трансформації трансферну ДНК було вбудовано в кодуючий регіон гену *mal31*, відповідального за утворення задіяного в синтезі пулулану вуглеводного транспортеру, що привело до підвищення рівня транскрипції генів *pgm2*, *ugp*, *fk1* та *kre6*; активності ключових ферментів, пов'язаних з біосинтезом уридиндифосфат-глюкози і β-глюкану, та внутрішньоклітинного пулууридиндифосфат-глюкози. У той же час спо-

стерігалось зниження рівня транскрипції генів *ags2*, які кодують α -глюкансинтазу — ключовий фермент синтезу пулулану. Загалом, порушення функціонування гену *mal31* призвело до зниження концентрації пулулану на 41,7%.

Ще одним прикладом спрямування метаболічних шляхів на синтез цільового продукту є дослідження (Cheng, Yu, & Stephanopoulos, 2019), в якому на основі моделі геному iCW773 було визначено цільові гени та здійснено відповідні генетичні маніпуляції, спрямовані на інтенсифікацію синтезу гіалуронової кислоти у *Corynebacterium glutamicum*. У результаті проведених досліджень: 1) підвищено експресію гену *hasB*, кодуючого УДФ-глюкозо-6-дегідрогеназу, яка каталізує перетворення УДФ-глюкози на попередник гіалуронової кислоти — УДФ-глюкуронову кислоту; 2) знижено метаболічну активність гліколізу за рахунок asRNA-опосередкованого послаблення гену *fba*, який кодує фруктозо-1,6-дифосфат альдолазу; 3) знижено метаболічну активність пентозофосфатного шляху завдяки делеції гену *zwf*, який кодує глюкозо-6-фосфатдегідрогеназу; 4) знижено активність піруватдегідрогенази в результаті комплексного asRNA-опосередкованого послаблення гену *aceE* та мутації ініціюючого кодону); 5) заблоковано шляхи синтезу лактату та ацетату завдяки видаленню ключових генів відповідних метаболічних шляхів (*ldh*, *ackA-pta*, *cat* та *poxB*). Загалом, такий комплексний підхід сприяв максимальному спрямуванню пулу вуглецю на синтез цільового продукту. При реалізації культивування з підживленням отриманий рекомбінантний штам накопичував 28,7 г/л гіалуронової кислоти, що у 22 рази вище за показники синтезу вихідного штаму.

Інші дослідники (Woo, Seong, Lee, & Jang, 2019) в результаті комплексних рекомбінацій (делеція репресорів галактозного оперону *galR* та *galS*, підвищення активності кластеру генів *galU-ugd* біосинтезу гіалуронової кислоти, зниження рівня споживання глюкози за рахунок видалення генів *pfkA* та *zwf*) отримали рекомбінантний штам *Escherichia coli*, здатний синтезувати гіалуронову кислоту (0,03 г/л) на суміші глюкози та галактози. Зазначимо, що ця праця є однією з перших, в якій повідомляється про можливість синтезу гіалуронової кислоти з галактози.

Підвищення рівня експресії ключових генів біосинтезу полісахаридів. Gu зі співавт. (Gu та ін., 2017) досліджували можливість підвищення експресії гену *sacB*, що кодує левансахаразу у штаму *Bacillus amyloliquefaciens* NK- Δ LP. Серед усіх рекомбінантів штам Δ LP-Y, у якому використано гетерологічний промотор P_{gras} та сигнальний пептид uncM, характеризувався найвищими показниками синтезу полісахариду. Так, при культивуванні з підживленням на середовищі з сахарозою (200 г/л) штам Δ LP-Y накопичував 102 г/л ЕПС впродовж 48 год культивування, що більш ніж у 7 разів вище порівняно з показниками синтезу вихідного штаму. Зазначимо, що така концентрація левану є порівнянною з найвищою відомою натеper (*Bacillus subtilis* (natto) CCT7712 синтезував 112 г/л полісахариду) (Öner, Hernández, & Combie, 2016).

Інші дослідники (Huang та ін., 2013) вивчали вплив підвищення експресії гену *pgmG*, який кодує синтез біфункціонального білка з фосфоглюкомутазною та фосфоманомутазною активністю, на синтез полісахариду сфінгану бактеріями *S.sanxanigenens*. Експерименти показали, що рекомбінантний штам синтезує на 17% більше ЕПС (12,6 г/л), ніж вихідний.

У праці (Jones, 2012) встановлено, що мутантний штам *Sinorhizobium meliloti* з підвищеною експресією гену *exoY*, утворював в 2,3—2,5 рази більше полісахариду сукциноглюкану порівняно з вихідним штамом. Ген *exoY* кодує фермент фосфотрансферазу ундекапреніл-фосфат галактози, який каталізує приєднання галактози до ліпідного переносника та бере участь у початкових етапах синтезу сукциноглюкану.

У праці (Svensson, Waak, Svensson, & Rådström, 2005) показано, що підвищення експресії генів *galE*, *galT* та *galK*, кодуючи УДФ-глюкозо-4-епімеразу, галактозо-фосфатазо-уридилтрансферазу та галактокіназу відповідно, у рекомбінантного штаму *Streptococcus thermophilus* TMB 6013 супроводжувалося збільшенням виходу ЕПС від субстрату у 3,3 рази (до 0,5 г ЕПС/г лактози) порівняно з вихідним штамом LY03.

Однією з проблем синтезу пулулану *Aureobasidium* spp. під час росту на середовищах з високим вмістом глюкози є катаболітна репресія. Для зниження такого впливу Wang зі співавт. (Wang та ін., 2017) у штаму *Aureobasidium melanogenum* P16 видалили ген, який кодує катаболітний вуглецевий репресор CreA та відіграє ключову роль у репресії глюкозою. Отриманий штам DG41 з порушеним функціонуванням гену *CREA* характеризувався підвищеним транскрипційним рівнем генів, кодуючи глікозилтрансферазу, трьох генів транспортерів глюкози, глюкозо-6-фосфаткінази, α -амілази, глюкоамілази та пулулани. У той же час було суттєво знижено рівень експресії генів *CreA* та двох транспортерів глюкози. У процесі культивування на середовищі з високим вмістом глюкози (120 г/л) штам DG41 накопичував майже 65 г/л пулулану, що було в 1,25 рази вищим за показники синтезу вихідного штаму P16.

Зазначимо, що в деяких випадках надмірна експресія генів, пов'язаних з біосинтезом полісахаридів, не завжди спричиняє однозначний позитивний ефект. Штам *Bacillus licheniformis* CGMCC 2876 одночасно синтезує полісахарид та полі- γ -глютамінову кислоту, яким притаманні флокуляційні властивості (Liu та ін., 2017). Експерименти показали, що підвищена експресія гену *epsB*, відповідального за негативну регуляцію синтезу полісахариду, приводила до підвищення концентрації біофлокулянту до 10,26 г/л та його флокуляційної активності до 9612 Од/мл (на 36,6 та 224% відповідно). При цьому спостерігалось зниження вмісту вуглеводної складової біофлокулянту майже на 25% і підвищення вмісту полі- γ -глютамінової кислоти на 10%. У той же час одночасне підвищення рівня експресії ключових генів біосинтезу ЕПС у бактерій роду *Bacillus* (*pgcA* і *gtaB1*, що кодують фосфоглюкомутазу та УДФ-глюкозо-пірофосфорилазу), супроводжувалося підвищенням синтезу біофлокулянту лише на 21%. Зазначимо, що в цих дослідженнях продуцент вирощували в середовищі з глюкозою, в якому, на відміну від культивування на цитраті натрію та гліцерині, переважно синтезується полісахарид.

Оптимізація умов культивування вдосконалених штамів-продуцентів. Окремо варто виділити вдосконалення продуцентів з метою оптимізації біотехнологічного процесу одержання практично цінних метаболітів. Так, у праці (Liu та ін., 2016) повідомляється про оптимізацію біосинтезу велану штамом *Sphingomonas* sp. за рахунок гетерологічної експресії гену гемоглобіну (*vgb*) бактерій *Vit-*

reosilla. Використання такого підходу дало змогу мінімізувати лімітування кишем, що має місце при підвищенні в'язкості культуральної рідини у процесі накопичення ЕПС, та підвищити синтез велану з 25,3 г/л до 34,6 г/л без суттєвої зміни його реологічних властивостей.

Інші дослідники (Sun та ін., 2011) в результаті електротрансформації *Enterobacter cloacae* JD генетичним матеріалом, виділеним з термофільного штаму *Geobacillus* sp. GW3, отримали трансформант GW3-3.0, здатний синтезувати 8,83 г/л ЕПС на середовищі з мелясою при температурі 54 °С. У той же час при підвищенні температури до 59 °С синтез полісахариду майже повністю припинявся. Такі властивості отриманого трансформанту роблять перспективним використання синтезованого ним ЕПС для контрольованої інтенсифікації вторинного видобутку нафти.

Зазначимо, що термофільні та інші екстремофільні організми, зокрема психро- та галофіли, можуть бути не тільки джерелом генів підвищеної стійкості до несприятливих факторів навколишнього середовища, а й слугувати перспективною біологічною моделлю для створення нових промислово важливих продуцентів ЕПС (Wang, Salem, & Sani, 2019). Незважаючи на те, що полісахаридам екстремофілів можуть бути притаманні унікальні властивості, їхнє комерційне впровадження є дуже обмеженим через низьку ЕПС-синтезувальну здатність (Pirog, Voronenko, & Ivakhniuk, 2018).

Зазначимо, що у переважній більшості досліджень рекомбінантні штами продуцентів отримано з використанням як векторів для перенесення генетичної інформації відповідних плазмід. Оскільки плазмиди та інші мобільні генетичні елементи можуть бути легко сконструйовані, перенесені та експресовані в організмі господаря, вони є зручним інструментом для проведення тестувань і досліджень (Oesterle, Wuethrich, & Panke, 2017). У той же час існує ряд недоліків при використанні рекомбінантних штамів у біотехнологічному виробництві. Так, для відбору рекомбінантних плазмід, зазвичай, містить гени стійкості до певних антибіотиків. При промисловому одержанні цільового продукту наявність антибіотиків у середовищі культивування рекомбінантних продуцентів є додатковим фактором витрат, а потенційне забруднення продукту антибіотиками є ризиком і викликає занепокоєння з екологічної точки зору. Окрім цього, генетична нестабільність може призвести до елімінації плазмиди чи зниження кількості копій, а отже, й втрати продуктивності.

Модифікація функціональних характеристик мікробних полісахаридів. Окрім інтенсифікації синтезу ЕПС, методи генетичної інженерії використовуються для регуляції складу і властивостей полісахаридів.

Ще в 1990 р. було встановлено, що модифікований тетраметр ксантану, з якого завдяки інактивації гену, кодуєючи глікозилтрансферазу, видалено термінальну манозу, характеризувався нижчою в'язкістю, ніж ЕПС вихідного штаму (Hassler, & Doherty, 1990).

Пізніші дослідження, проведені у другій половині 90-х XX ст.—початку 2000-х років, підтвердили, що зміни у хімічному складі ЕПС за різних умов культивування продуцентів можуть бути зумовлені зміненням активності або інактивацією ферментів (зокрема, глікозилтрансфераз), які беруть участь в утворенні

нуклеозиддифосфатсахаридів — попередників синтезу ЕПС. Зокрема, у *Rhizobium leguminosarum* мутації в *exoB* гені (аналог *galE*), який кодує синтез УДФ-галактозоепімерази, супроводжувались відсутністю галактози у складі ЕПС (Sanchez-Andujar та ін., 1997). У *galE* мутантів *Erwinia amylovora* змінювався склад синтезованого ліпополісахариду (Metzer, Bellemann, Bugert, & Geider, 1994). У той же час у молочнокислих бактерій *Lactococcus lactis* мутації у *galE* гені не впливали на склад ЕПС, зокрема, на вміст галактози (Boels, Ramos, Kleerebezem, & de Vos, 2001). Було встановлено, що в цих бактерій утворення УДФ-галактози (як і УДФ-глюкози) контролюється іншим ферментом — УДФ-глюкозопірофосфорилазою, синтез якого кодується *galU* геном.

У ЕПС-синтезувальних стрептококів групи В визначено гени (*cpsIaC* і *cpsIaD*), відповідальні за полімеризацію ЕПС (Cieslewicz, Kasper, Wang, & Wesels, 2001). Мутанти, дефектні за цими генами, синтезували ЕПС, склад яких був ідентичний складу ЕПС вихідного штаму, проте з нижчою молекулярною масою (41000—45000 проти 90000—100000 у ЕПС вихідного штаму). Автори зазначають, що білки CpsC та CpsD є схожими за амінокислотним складом до білків грамнегативних бактерій (ExoP у *Rhizobium meliloti* та Wzz у ентеробактерій), які також є відповідальними за довжину синтезованого полісахаридного ланцюга. Ці білки у стрептококів піддані регуляції шляхом фосфорилування-дефосфорилування.

У різних видів бактерій роду *Rhizobium* (*Sinorhizobium*) кластери генів *exo* та *exp* залучені до синтезу сукциноглюкану та галактоглюкану відповідно (Mendrygal, & Gonzalez, 2000; Becker та ін., 2002). Концентрація фосфатів у середовищі культивування є важливим фактором, який впливає на експресію *exp* генів (Mendrygal, & Gonzalez, 2000; Becker та ін., 2002). Встановлено, що регуляторами транскрипції кластера *exp* генів, який забезпечує синтез галактоглюкану, є білки MucR MucS (Lloret та ін., 2002).

Stingele зі співавт. (Stingele та ін., 1999) досліджували гетерологічну експресію кластеру генів *Streptococcus thermophilus* Sfi6, які кодують синтез ЕПС, у молочнокислих бактерій *L. lactis* MG1363, нездатних до синтезу полісахариду. Отриманий рекомбінантний штам через низьку активність УДФ-*N*-ацетоглюкозамін-С4-епімерази синтезував полісахарид, у складі якого *N*-ацетилгалактозамін був замінений на галактозу.

Нещодавно з'явилася праця (Wu та ін., 2019), в якій, окрім впливу термінальної манозина реологічні характеристики ксантану *Xanthomonas campestris* CGMCC 15155, додатково досліджували вплив наявності залишків ацетату та пірувату на властивості цього ЕПС. З цієї метою було сконструйовано 8 рекомбінантних штамів з делецією або підвищеною експресією генів *gumF*, *gumG*, *gumL* та *gumI*. Аналогічно даним, викладеним у праці (Hassler, & Doherty, 1990), полісахарид з відсутньою термінальною занозою у складі тетрамеру характеризувався низькою в'язкістю при нульовій швидкості зсуву. У той же час встановлено, що наявність залишків ацетату (на відміну від пірувату), у складі повторюваної одиниці ксантану сприяла стабілізації подвійної спіралі полімеру, а розчинам полісахариду, з складу якого було вилучено глюкуронову кислоту, була притаманна підвищена в'язкість. Є дані про можливість регулювання молекулярної маси ксантану комбінованим підвищенням експресії генів *gumB* та *gumC*

(Galván та ін., 2013).

Інші автори (Díaz-Barrera, Soto, & Altamirano, 2021) продемонстрували можливість збільшення молекулярної маси альгінату *Azotobacter vinelandii* в результаті підвищення експресії гену *alg8*, який кодує синтез каталітичної субодиниці альгінат-полімеразного комплексу. У той же час в експериментах з рекомбінантним штамом *Pseudomonas aeruginosa* PDO300Δ*alg8*, нездатними до синтезу ЕПС, встановлено, що додаткове введення гену *alg8* супроводжувалося підвищенням кількості синтезованого альгінату в 15 разів порівняно з показниками для вихідного штаму PDO300 (Remminghorst, & Rehm, 2006).

Зазначимо, що використання методів генетичної інженерії надає можливість конструювати продуценти з повним циклом синтезу не властивих їм практично цінних біополімерів (Becker, 2015; Wu та ін. 2019; Badri та ін. 2021). Так, Gu зі співавт. (Badri та ін. 2021) сконструювали рекомбінантний штам *E. coli* MG1655Δ*cysH*(DE3) рETM6-PCAFSw, здатний синтезувати приблизно 27 мкг/г біомаси низькомолекулярного хондроїтин сульфату з високим рівнем сульфатування (96%). Етапи конструювання штаму такі: 1) з використанням як вектора плазмиди рETM6-Sw введено гени синтезу сульфотрансферази; 2) порушено синтез фруктозилізованого хондроїтину, який входить до складу капсульного полісахариду продуцента; 3) завдяки репресії гену *cysH*, відповідального за відновлення 3'-фосфоаденозин-5'-фосфосульфату до неорганічного сульфіту забезпечено достатній внутрішньоклітинний пул донору сульфату.

У праці (Williams та ін., 2019) продемонстровано можливість гетерологічної експресії генів *Pasteurella multocida*, що кодують гепарозан синтазу (PmHS2), в бактеріях *Bacillus megaterium*. Під час культивування з підживленням у середовищі з ксилізою рекомбінантний штам накопичував до 2,74 г/л гепарозану.

Узагальнені дані щодо синтезу ЕПС продуцентами, вдосконаленими методами генетичної та метаболічної інженерії, наведено в таблиці.

Таблиця. Синтез екзополісахаридів рекомбінантними штамми мікроорганізмів

Вихідний штам продуцента	Генетична модифікація продуцента	Результат генетичної модифікації	Література
<i>Aureobasidium melanogenum</i> P16	Делеція гену CREA	Підвищення синтезу пулулану у 1,25 раза (до 65 г/л)	Wang та ін., 2017
<i>Aureobasidium pullulans</i>	Підвищення експресії генів <i>pgm2</i> , <i>ugp</i> , <i>fls1</i> та <i>kre6</i>	Підвищення синтезу β-глюкану у 5,4 раза (до 3,41 г/л)	Chen та ін., 2021
<i>Azotobacter vinelandii</i>	Підвищення експресії гену <i>alg8</i>	Регуляція молекулярної маси альгінату	Díaz-Barrera, Soto, & Altamirano, 2021
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> NK-ΔLP	Підвищення експресії гену <i>sacB</i>	Підвищення синтезу ЕПС у 7 разів (до 102 г/л)	Gu та ін., 2017
<i>Bacillus licheniformis</i> CGMCC 2876	Підвищення експресії генів <i>epsB</i>	Підвищення синтезу біофлюкулянту на 36,6% (до 10,26 г/л). Підвищення флокуляційної активності на 224 % (до 9612 Од/мл)	Liu та ін., 2017

<i>Bacillus megaterium</i>	Експресія генів, які кодують гепарозан синтазу (PmHS2)	Синтез гепарозану (2,74 г/л)	Williams та ін., 2019
<i>Bacillus subtilis</i> NJ509	Опромінення іонами азоту	Підвищення синтезу ЕПС у 5,4 раза (до 3,41 г/л)	He та ін., 2018
<i>Corynebacterium glutamicum</i>	Підвищення експресії гену <i>hasB</i> Послаблення експресії генів <i>fba</i> та <i>aceE</i> . Делеція генів <i>zwf</i> , <i>ldh</i> , <i>ackA-pta</i> , <i>cat</i> та <i>poxB</i>	Підвищення синтезу гіалуронової кислоти у 22 рази (до 28,7 г/л)	Cheng, Yu, & Stephanopoulos, 2019
<i>Enterobacter cloacae</i> JD	Електротрансформація генетичним матеріалом <i>Geobacillus</i> sp. GW3	Здатність до синтезу ЕПС (8,83 г/л) при температурі 54 °C	Sun та ін., 2011
<i>Escherichia coli</i>	Делеція генів <i>galR</i> , <i>galS</i> , <i>pfkA</i> та <i>zwf</i> Підвищення експресії генів <i>galU-ugd</i>	Синтез гіалуронової кислоти (0,03 г/л) на галактозі	Woo, Seong, Lee, & Jang, 2019
<i>Escherichia coli</i>	Експресія генів, які кодують сульфотрансферазу. Делеція генів, які кодують фруктозилтрансферазу. Репресія гену <i>cysH</i>	Синтез низькомолекулярного хондроїтин сульфату з високим рівнем сульфатування (27 мкг/г біомаси)	Badri та ін., 2021
<i>Escherichia coli</i> JM109(DE3)	Делеція гену <i>waaF</i>	Підвищення синтезу коланової кислоти у 12 разів (до 1,90 г/л)	Han та ін., 2021
<i>Lactobacillus casei</i> LC2W	Підвищення експресії гену <i>nox</i>	Підвищення синтезу ЕПС на 46% (до 0,2 г/л)	Li та ін., 2015, a
<i>Lactococcus lactis</i> MG1363	Експресія кластеру ЕПС генів <i>Streptococcus thermophilus</i> Sfi6	Заміна N-ацетилгалактозаміну складі ЕПС вихідного штаму на галактозу	Stinglee та ін., 1999
<i>Sinorhizobium meliloti</i>	Підвищення експресії гену <i>exoY</i>	Підвищення синтезу ЕПС у 2,3—2,5 раза	Jones, 2012
<i>Sphingomonas sanxanigenens</i>	Підвищення експресії гену <i>pgmG</i>	Підвищення синтезу ЕПС на 17% (до 12,6 г/л)	Huang та ін., 2013
<i>Sphingomonas sanxanigenens</i> NX02	Делеція гену <i>phbB</i> . Плазмовий мутагенез	Підвищення синтезу ЕПС у 1,4 раза (до 21,2 г/л)	Wu та ін., 2018
<i>Sphingomonas</i> sp.	Експресія гену гемоглобіну <i>vgb</i>	Підвищення синтезу пулулану у 1,4 раза (до 34,6г/л). Мінімізація лімітування за киснем при глибинному культивуванні	Liu та ін., 2016

<i>Streptococcus thermophilus</i> TMB 6013	Підвищення експресії генів <i>galE</i> , <i>galT</i> та <i>galK</i>	Підвищення виходу ЕПС від субстрату у 3,3 раза (до 0,5 г ЕПС/г лактози)	Svensson, Waak, Svensson, & Rådström, 2005
<i>Synechocystis</i> sp. PCC 6803	Порушення експресії гену <i>glgC</i> . Підвищення експресії гену <i>gpi</i>	Підвищення синтезу ЕПС у 7,4 раза (до 1,3 г/л)	Velmurugan, & Incharoensakdi, 2021
<i>Xanthomonas campestris</i>	Підвищення експресії генів <i>gumB</i> та <i>gumC</i>	Регуляція молекулярної маси ксантану	Galván та ін., 2013
<i>Xanthomonas campestris</i> CGMCC 15155	Підвищення експресії або делеція генів <i>gumF</i> , <i>gumG</i> , <i>gumL</i> та <i>gumI</i>	Регуляція реологічних характеристик ксантану	Wu та ін., 2019

Висновки

Проаналізовані літературні дані останніх років щодо шляхів підвищення ефективності технологій мікробних ЕПС засвідчили необхідність комплексного підходу для вирішення цього завдання, у тому числі й застосування методів метаболічної та генетичної інженерії. Реалізація цих методів дає змогу виявити та усунути «вузькі місця» метаболізму продуцентів екзополісахаридів, інтенсифікувати синтез полісахаридів, модифікувати склад та властивості ЕПС, розширити набір субстратів для їхнього синтезу. Основними шляхами регуляції метаболізму продуцентів мікробних ЕПС є спрямування вуглецю субстрату на синтез цільового продукту за рахунок підвищення рівня експресії ключових генів біосинтезу полісахаридів і делеції генів конкуруючих метаболічних шляхів.

Література

- Пирог, Т. П., Вороненко, А. А. (2023). Шляхи підвищення ефективності технологій синтезу мікробних екзополісахаридів. Частина 1. Встановлення оптимальних умов біосинтезу. *Наукові праці НУХТ*, 29(1), 7—24. Взято з: http://sw.nuft.edu.ua/Archiv/2023/swnuft_29_1.pdf.
- Anderson, L. A., Islam, M. A., Prather, K. L. J. (2018). Synthetic biology strategies for improving microbial synthesis of "green" biopolymers. *Journal of Biological Chemistry*, 293(14), 5053—5061. doi: 10.1074/jbc.TM117.000368.
- Ates, O. (2015). Systems biology of microbial exopolysaccharides production. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 3:200. doi: 10.3389/fbioe.2015.00200.
- Badri, A., Williams, A., Awofiranye, A., Datta, P., Xia, K., He, W. et al. (2021). Complete biosynthesis of a sulfated chondroitin in *Escherichia coli*. *Nature Communications*, 12:1389. doi: 10.1038/s41467-021-21692-5.
- Barcelos, M. C. S., Vespermann, K. A. C., Pelissari, F. M., Molina, G. (2020). Current status of biotechnological production and applications of microbial exopolysaccharides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(9), 1475—1495. doi: 10.1080/10408398.2019.1575791.
- Becker, A. (2015). Challenges and perspectives in combinatorial assembly of novel exopolysaccharide biosynthesis pathways. *Frontiers in Microbiology*, 6:687. doi: 10.3389/fmicb.2015.00687.
- Becker, A., Ruberg, S., Baumgarth, B., Bertram-Drogatz, P. A., Quester, L., Puhler, A. (2002). Regulation of succinoglucan and galactoglucan biosynthesis in *Sinorhizobium meliloti*. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*, 4(3), 187—190.

- Boels, I. C., Ramos, A., Kleerebezem, M., de Vos, W. M. (2001). Functional analysis of the *Lactococcus lactis galU* and *galE* genes and their impact on sugar nucleotide and exopolysaccharide biosynthesis. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(7), 3033—3040.
- Chen, X., Wang, Y., He, C. Y., Wang, G. L., Zhang, G. C., Wang, C. L. et al. (2021). Improved production of β -glucan by a T-DNA-based mutant of *Aureobasidium pullulans*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(18), 6887—6898. doi: 10.1007/s00253-021-11538-x.
- Cheng, F., Yu, H., Stephanopoulos, G. (2019). Engineering *Corynebacterium glutamicum* for high-titer biosynthesis of hyaluronic acid. *Metabolic Engineering*, 55, 276—289. doi: 10.1016/j.ymben.2019.07.003.
- Cieslewicz, M. J., Kasper, D. L., Wang, Y., Wessels, M. R. (2001). Functional analysis in type Ia group B *Streptococcus* of a cluster of genes involved in extracellular polysaccharide production by diverse species of streptococci. *Journal of Biological Chemistry*, 276(1), 139—146.
- Donot, F., Fontana, A., Baccou, J. C., Schorr-Galindo, S. (2012). Microbial exopolysaccharides: Main examples of synthesis, excretion, genetics and extraction. *Carbohydrate Polymers*, 87(2), 951—962. doi: 10.1016/j.carbpol.2011.08.083.
- Díaz-Barrera, A., Soto, E., Altamirano, C. (2021). Alginate production and *alg8* gene expression by *Azotobacter vinelandii* in continuous cultures. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 39(4), 613—621. doi: 10.1007/s10295-011-1055-z.
- Freitas, F., Alves, V. D., Reis, M. A. (2011). Advances in bacterial exopolysaccharides: from production to biotechnological applications. *Trends in Biotechnology*, 29(8), 388—398. doi: 10.1016/j.tibtech.2011.03.008.
- Freitas, F., Torres, C. A. V., Reis, M. A. M. (2017). Engineering aspects of microbial exopolysaccharide production. *Bioresource Technology*, 245(Pt B), 1674—1683. doi: 10.1016/j.biortech.2017.05.092.
- Galván, E. M., Ielmini, M. V., Patel, Y. N., Bianco, M. I., Franceschini, E. A., Schneider, J. C. et al. (2013). Xanthan chain length is modulated by increasing the availability of the polysaccharide copolymerase protein GumC and the outer membrane polysaccharide export protein GumB. *Glycobiology*, 23(2), 259—272. doi: 10.1093/glycob/cws146.
- Gu, Y., Zheng, J., Feng, J., Cao, M., Gao, W., Quan, Y. et al. (2017). Improvement of levan production in *Bacillus amyloliquefaciens* through metabolic optimization of regulatory elements. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101(10), 4163—4174. doi: 10.1007/s00253-017-8171-2.
- Han, H. M., Kim, I. J., Yun, E. J., Lee, J. W., Cho, Y., Jin, Y. S. et al. (2021). Overproduction of exopolysaccharide colanic acid by *Escherichia coli* by strain engineering and media optimization. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 193(1), 111—127. doi: 10.1007/s12010-020-03409-4.
- Hassler, R. A., Doherty, D. H. (1990). Genetic engineering of polysaccharide structure: production of variants of xanthan gum in *Xanthomonas campestris*. *Biotechnology Progress*, 6(3), 182—187.
- He, X., He, F., Hang, J., Li, H., Chen, Y., Wei, P. et al. (2018). Enhanced production of exopolysaccharides using industrial grade starch as sole carbon source. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 41(6), 811—817. doi: 10.1007/s00449-018-1915-2.
- Huang, H., Li, X., Wu, M., Wang, S., Li, G., Ma, T. (2013). Cloning, expression and characterization of a phosphoglucomutase/phosphomannomutase from sphingane-producing *Sphingomonas sanxanigenens*. *Biotechnology Letters*, 35, 1265—1270. doi: 10.1007/s10529-013-1193-7.
- Jones, K. M. (2012). Increased production of the exopolysaccharide succinoglycan enhances *Sinorhizobium meliloti* 1021 symbiosis with the host plant *Medicago truncatula*. *Journal of Bacteriology*, 194(16), 4322—4331. doi: 10.1128/JB.00751-12.
- Li, N., Wang, Y., Zhu, P., Liu, Z., Guo, B., Ren, J. (2015a). Improvement of exopolysaccharide production in *Lactobacillus casei* LC2W by overexpression of NADH oxidase gene. *Microbiological Research*, 171, 73—77. doi: 10.1016/j.micres.2014.12.006.
- Li, N., Huang, Y., Liu, Z., You, C., Guo, B. (2015b). Regulation of EPS production in

Lactobacillus casei LC2W through metabolic engineering. *Letters in Applied Microbiology*, 61(6), 555—561. doi: 10.1111/lam.12492.

Liu, P., Chen, Z., Yang, L., Li, Q., He, N. (2017). Increasing the bioflocculant production and identifying the effect of overexpressing *epsB* on the synthesis of polysaccharide and γ -PGA in *Bacillus licheniformis*. *Microbial Cell Factories*, 16:163. doi: 10.1186/s12934-017-0775-9.

Liu, X., Zhu, P., Jiang, R., Wu, L., Feng, X., Li, S. et al. (2016). Enhancement of welan gum production in *Sphingomonas* sp. HT-1 via heterologous expression of *Vitreoscilla* hemoglobin gene. *Carbohydrate Polymers*, 156, 135—142. doi: 10.1016/j.carbpol.2016.08.081.

Lloret, J., Martin, M., Oruezabal, R. I., Bonilla, I., Rivilla, R. (2002). MucR and mucC activate *exp* genes transcription and galactoglucan production in *Sinorhizobium meliloti* EFB1. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 15(1), 54—59.

Mendrygal, K. E. Gonzalez, J. E. (2000). Environmental regulation of exopolysaccharide production in *Sinorhizobium meliloti*. *Journal of Bacteriology*, 182(3) 559—606.

Metzer, M., Bellemann, P., Bugert, P., Geider, K. (1994). Genetics of galactose metabolism of *Erwinia amylovora* and its influence on polysaccharide synthesis and virulence of the fire blight pathogen. *Journal of Bacteriology*, 176, 450—459.

Oesterle, S., Wuethrich, I., Panke, S. (2017). Toward genome-based metabolic engineering in bacteria. *Advances in Applied Microbiology*, 101, 49—82. doi: 10.1016/bs.aambs.2017.07.001.

Öner, E. T., Hernández, L., Combie, J. (2016). Review of levan polysaccharide: From a century of past experiences to future prospects. *Biotechnology Advances*, 34(5), 827—844. doi: 10.1016/j.biotechadv.2016.05.002.

Pirog, T. P., Voronenko, A. A., Ivakhniuk, M. O. (2018). Non-traditional producers of microbial exopolysaccharides. *Biotechnologia acta*, 11(4), 5—27. doi: 10.15407/biotech11.04.005.

Rana, S., Upadhyay, L. S. B. (2020). Microbial exopolysaccharides: Synthesis pathways, types and their commercial applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 157, 577—583. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.04.084.

Rehm, B. H. (2010). Bacterial polymers: biosynthesis, modifications and applications. *Nature Reviews Microbiology*, 8(8), 578—592. doi: 10.1038/nrmicro2354.

Remminghorst, U., Rehm, B. (2006). *In vitro* alginate polymerization and the functional role of Alg8 in alginate production by *Pseudomonas aeruginosa*. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(1), 298—305. doi: 10.1128/AEM.72.1.298-305.2006.

Ruiz-Villafán, B., Cruz-Bautista, R., Manzo-Ruiz, M., Passari, A. K., Villarreal-Gómez, K., Rodríguez-Sanoja, R. et al. (2021). Carbon catabolite regulation of secondary metabolite formation, an old but not well-established regulatory system. *Microbial Biotechnology*, 1—15. doi: 10.1111/1751-7915.13791.

Sanchez-Andujar, B., Colorado, C., Philip-Hollingsworth, S., Dazzo, F. B., Palomares, A. J. (1997). Structure and role in symbiosis of *exoB* gene of γ *Rhizobium leguminosarum* by. *trifolii*. *Molecular Genetics and Genomics*, 255, 131—140.

Schilling, C., Badri, A., Sieber, V., Koffas, M., Schmid, J. (2020). Metabolic engineering for production of functional polysaccharides. *Current Opinion in Biotechnology*, 66, 44—51. doi: 10.1016/j.copbio.2020.06.010.

Schmid, J. (2018). Recent insights in microbial exopolysaccharide biosynthesis and engineering strategies. *Current Opinion in Biotechnology*, 53, 130—136. doi: 10.1016/j.copbio.2018.01.005.

Schmid, J., Heider, D., Wendel, N. J., Sperl, N., Sieber, V. (2016). Bacterial glycolsyl-transferases: challenges and opportunities of a highly diverse enzyme class toward tailoring natural products. *Frontiers in Microbiology*, 7:182. doi: 10.3389/fmicb.2016.00182.

Schmid, J., Sieber, V., Rehm, B. (2015). Bacterial exopolysaccharides: biosynthesis pathways and engineering strategies. *Frontiers in Microbiology*, 6:496. doi: 10.3389/fmicb.2015.00496.

Stingele, F., Vincent, S. J. F., Faber, E. J., Newell, J. W., Kamerling, J. P., Nesser, J. R. (1999). Introduction of the exopolysaccharide gene cluster from *Streptococcus thermophilus* Sfi6 into

Lactococcus lactis MG1363: production and characterization of an altered polysaccharide. *Molecular Microbiology*, 32(6), 1287—1295. doi: 10.1046/j.1365-2958.1999.01441.x.

Sun, X., Zhang, J. (2021). Bacterial exopolysaccharides: chemical structures, gene clusters and genetic engineering. *International Journal of Biological Macromolecules*, 173, 481—490. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.01.139.

Sun, S., Zhang, Z., Luo, Y., Zhong, W., Xiao, M., Yi, W. et al. (2011). Exopolysaccharide production by a genetically engineered *Enterobacter cloacae* strain for microbial enhanced oil recovery. *Bioresource Technology*, 102(10), 6153—6158. doi: 10.1016/j.biortech.2011.03.005.

Svensson, M., Waak, E., Svensson, U., Rådström, P. (2005). Metabolically improved exopolysaccharide production by *Streptococcus thermophilus* and its influence on the rheological properties of fermented milk. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(10), 6398—6400. doi: 10.1128/AEM.71.10.6398-6400.2005.

Velmurugan, R., Incharoensakdi, A. (2021). Overexpression of glucose-6-phosphate isomerase in *Synechocystis* sp. PCC 6803 with disrupted glycogen synthesis pathway improves exopolysaccharides synthesis. *Algal Research*, 57:102357. doi: 10.1016/j.algal.2021.102357.

Wang, Q. Q., Lu, Y., Ren, Z. Y., Chi, Z., Liu, G. L., Chi, Z. M. (2017). CreA is directly involved in pullulan biosynthesis and regulation of *Aureobasidium melanogenum* P16. *Current Genetics*, 63(3), 471—485. doi: 10.1007/s00294-016-0650-y.

Wang, J., Salem, D. R., Sani, R. K. (2019). Extremophilic exopolysaccharides: a review and new perspectives on engineering strategies and applications. *Carbohydrate Polymers*, 205, 8—26. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.10.011.

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

Woo, J. E., Seong, H. J., Lee, S. Y., Jang, Y.-S. (2019). Metabolic engineering of *Escherichia coli* for the production of hyaluronic acid from glucose and galactose. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7:351. doi: 10.3389/fbioe.2019.00351.

Wu, M., Shi, Z., Tian, X., Shen, Y., Qu, J., Dai, X. et al. (2018). Enhancement of transparent hydrogel sanxan production in *Sphingomonas sanxanigenens* NX02 via rational and random gene manipulation. *Carbohydrate Polymers*, 189, 210—217. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.02.027.

Wu, M., Qu, J., Tian, X., Zhao, X., Shen, Y., Shi, Z. et al. (2019). Tailor-made polysaccharides containing uniformly distributed repeating units based on the xanthan gum skeleton. *International Journal of Biological Macromolecules*, 131, 646—653. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.03.130.

Xiong, Z., Chen, H., Song, X., Xia, Y., Ai, L. (2022). Rapid isolation of exopolysaccharide-producing *Streptococcus thermophilus* based on molecular marker screening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(2), 862—867. doi: 10.1002/jsfa.11398.

PURIFICATION OF WASTEWATER FROM THE BREWING INDUSTRY USING METHANE FERMENTATION TECHNOLOGY**O. Stotska***Institute of Postgraduate Education of the National University of Food Technologies*

Key words:

Brewing
Methane fermentation
Waste
Wastewater
Biogas

Article history:

Received 10.03.2023
Received in revised form
21.03.2023
Accepted 07.04.2023

Corresponding author:

O. Stotska
E-mail:
marketing-uaan@ukr.net

ABSTRACT

The brewing industry generates a large amount of secondary material resources, namely: excess brewer's yeast, malt grain, malt sprouts, grain waste, protein sludge and a large amount of wastewater with varying degrees of organic pollution. These wastes contain a complex of nutrients, minerals and biologically active substances. Some of them (brewer's yeast, malt grain) are used as feed additives to the diet of farm animals as part of compound feed or in their native form.

The brewing industry is a branch of food industry with a high degree of water consumption and, accordingly, a large amount of wastewater generated in the production process. Wastewater from the brewing industry belongs to the category of highly polluted, therefore, for their effective cleaning, it is necessary to use suitable and economically beneficial technologies. Substances dissolved in water cannot be filtered or precipitated using coagulants, removed using flotation, etc. Some of the impurities, for example, proteins, can be removed by physical and chemical methods, but the main part of them is in the solution. Effective cleaning is possible only if complex compounds are destroyed directly in the wastewater. Existing cleaning technologies using physical and chemical methods are imperfect because they have low cleaning rates.

The best option for brewery wastewater treatment technology is the use of biotechnological cleaning methods. Such methods include methane fermentation. Methane fermentation is an anaerobic biochemical process that occurs under the influence of microorganisms of the genus *Methanobacterium*. This process leads to a significant reduction in the level of sewage pollution. The final products of methane fermentation are biogas and microbial protein with a high content of essential aminoacids.

For wastewater treatment of the brewing industry the use of methane fermentation technology was proposed, the final products of which are highly purified wastewater and biogas.

ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ПИВОВАРНОЇ ГАЛУЗІ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ МЕТАНОВОГО БРОДІННЯ

О. В. Стоцька

Інститут післядипломної освіти Національного університету харчових технологій

У пивоварній промисловості утворюється велика кількість вторинних матеріальних ресурсів: надлишкові пивні дріжджі, солодова дробина, солодові паростки, зернові відходи, білковий відстій і велика кількість стічних вод, що мають різний ступінь органічного забруднення. Ці відходи містять комплекс поживних, мінеральних і біологічно-активних речовин. Частина з них (пивні дріжджі, солодова дробина) використовуються як кормові добавки до раціону сільськогосподарських тварин у складі комбікормів або в нативному вигляді.

Пивоварна галузь відноситься до категорії харчової індустрії з високим ступенем споживання води та, відповідно, великою кількістю стічних вод, які утворюються в процесі виробництва. Стоки пивоварної галузі належать до категорії високозабруднених, тому для їх ефективного очищення необхідне застосування придатних та економічно вигідних технологій. Розчинені у воді речовини неможливо фільтрувати або осаджувати за допомогою коагулянтів, видаляти за допомогою флотації тощо. Частину забруднень, наприклад, білки, можна видаляти фізико-хімічними методами, але головна частина їх знаходиться в розчині. Ефективне очищення можливе лише за умови руйнування складних сполук безпосередньо у стічній воді. Існуючі технології очищення з використанням фізико-хімічних методів є недосконалими, тому що мають низькі показники очищення.

Оптимальним варіантом технології очищення пивоварних стоків є використання біотехнологічних методів, зокрема метанове бродіння, що являє собою анаеробний біохімічний процес, що відбувається під впливом мікроорганізмів роду *Methanobacterium*. Такий процес призводить до значного зниження рівня забрудненості стоків. Кінцевими продуктами метанового бродіння є біогаз і мікробний білок з високим вмістом незамінних амінокислот.

Для очищення стічних вод пивоварної галузі запропоновано використання технології метанового бродіння, кінцевими продуктами якої є високоочищені стічні води та біогаз.

Ключові слова: пивоварне виробництво, метанове бродіння, відходи, стічні води, білковий відстій, біогаз.

Постановка проблеми. Однією з найважливіших умов розвитку сучасних технологій харчової і переробної промисловості є створення безпечного екологічного виробництва шляхом використання безвідходних інноваційних технологій. Робота підприємств харчової і переробної промисловості пов'язана з виснаженням природних ресурсів та утворенням великої кількості відходів. Проблема полягає в тому, що в Україні практично не існує підприємств, що працюють за принципом безвідходних технологій, а проблема очищення стічних вод, що утворюються практично на кожному циклі виробництва, набула особливої гостроти.

Упродовж багатьох років підприємства харчової промисловості України практично не розглядали питання екологізації виробництва та раціональної утилізації відходів. Причинами такого явища є величезні затрати на будівництво нових очисних споруд і реконструкції існуючих.

Сьогоденна реальність дуже гостро ставить питання щодо входження українських виробників у європейську та світову спільноти з метою одержання сертифікатів міжнародного рівня не тільки якості продукції, а й екологічного стану підприємств. В умовах економічного та екологічного колапсу перед харчовою промисловістю України постало питання не тільки нарощування обсягів виробництва загальнодоступних соціальних продовольчих продуктів, а й забезпечення українських і європейських споживачів повноцінними за своїм хімічним складом та екологічно безпечними продуктами харчування на основі органічної сировини.

Інноваційно-інвестиційний план створення нових та удосконалення працюючих технологій має передбачати екологічні й енергоощадні технології, модернізацію існуючих технологій виробництва та розробку систем комплексної переробки відходів.

Комплексна переробка вторинних матеріальних ресурсів має надзвичайно швидкі темпи розвитку в Європі та США. Ця система являє собою замкнений цикл безвідходного виробництва, при належному функціонуванні якого підприємства отримують додаткові фінанси та відбувається процес суттєвого зниження негативного впливу виробничих потужностей на довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виробництво харчової продукції завжди супроводжується утворенням різноманітних відходів — рідких, твердих і газоподібних. Відходи, що містять у своєму складі білки, жири та амінокислоти, відносять до категорії вторинних матеріальних ресурсів. Вторинні матеріальні ресурси можуть повторно використовуватися у виробництві для отримання корисних продуктів. Стічні води, які утворюються на будь-якому харчовому виробництві, також відносяться до категорії вторинних матеріальних ресурсів (Домарецький, 1999). Але за статистикою близько 80% виробничих вод після закінчення технологічного процесу переводиться до категорії стічних вод і надходить у навколишнє середовище з низькими показниками очищення (Heavin, & Power, 2018).

Усі підприємства харчової промисловості споживають велику кількість води на різних етапах виготовлення продукції (Zhao, & Zhang, 2018). Кількість стічних вод, що утворюються на різних підприємствах харчової індустрії, наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Кількість стічних вод, що утворюється на підприємствах харчової промисловості

Підприємство	Кількість стічних вод
Хлібозавод потужністю 30 т/добу	2,8 м ³ /т виробів
Хлібозавод із кондитерським цехом потужністю 40 т/добу	3..4 м ³ /т виробів
Макаронна фабрика потужністю 105 т/добу	5..6 м ³ /т виробів
Завод із виробництва цукру-піску	2 м ³ /т буряка
Завод первинного виноробства	0,2 м ³ /т винограду
Завод вторинного виноробства (марочні вина)	28 м ³ /т винограду
Завод із виробництва солоду	18 м ³ /т солоду
Пивоварний завод	76 м ³ /1000 дал пива

Дані табл. 1 свідчать, що найбільша кількість стічних вод утворюється на підприємствах пивоварної галузі. Існуючі системи очищення на пивзаводах — механічні пристрої, що не забезпечують очищення вод до показників скиду їх в каналізаційні мережі (Мелетєв, & Тодосійчук, 2007).

Велика кількість підприємств має застаріле очисне обладнання, яке не дає змогу видалити зі стічних вод важкорозчинні органічні сполуки. Якщо стічні води не проходять потрібний цикл очистки, то при потраплянні до природних водойм відбувається окислення вуглеводів, білків і жирів за участю розчиненого кисню, який є одним з найважливіших факторів існування гідробіонтів. Унаслідок цього відбувається різке порушення динамічної рівноваги водних екосистем.

З метою запобігання негативним наслідкам скидання забруднених вод у природні водойми існують встановлені державні нормативи щодо їх складу. Показниками якості промислових вод, що скидаються у водойми господарсько-побутового і культурно-побутового призначення є: запах, забарвленість, вміст завислих речовин, величина рН, концентрація розчиненого кисню, температура, мінеральний склад тощо (Semkiv, & Ruchala, 2020).

Вищезначені факти вказують на необхідність розробки та впровадження високоефективних ресурсоощадних технологій очищення стоків. Особливо гострою та актуальною ця проблема є на підприємствах, що споживають велику кількість води. До таких галузей харчової промисловості відноситься пивоварна індустрія.

При виробництві пива утворюється велика кількість вторинних матеріальних ресурсів — стічні води, пивна дробина, білковий відстій, надлишкові пивні дріжджі, вуглекислий газ тощо. За своїм складом вони є цінним джерелом білкових і мінеральних речовин, вуглеводів та вітамінів (Ferreira, & Pereira, 2020).

Деякі види відходів пивоваріння знайшли своє застосування в різних галузях агропромислового комплексу. Наприклад, на основі солодової дробини, розроблено технологію отримання білково-вітамінних добавок для введення їх в раціон курчат-бройлерів для швидкого приросту ваги (Heavin, & Power, 2018); з надлишкових пивних дріжджів шляхом пресування отримують дріжджі з 25% вмістом сухих речовин, що мають більше 50% білка, 40% вуглеводів і безазотистих речовин (Alfuraydi, & Al-Ansari, 2021).

Стічні води пивоваріння містять розчинні органічні речовини, що знаходяться у вихідній сировині — білки, вуглеводи, мінеральні речовини та дріжджі. Для ліквідації забруднень стічних вод, тобто для їх очистки необхідні особливі методи. Ці речовини неможливо фільтрувати або осаджувати за допомогою коагулянтів, видаляти з використанням процесу флотації тощо. Деяку частину забруднень, наприклад, білки, можна видаляти фізико-хімічними методами, але головна їх частина знаходиться в розчині, тому їх можливо видалити лише шляхом деструкції безпосередньо в стічній воді. Ніякі хімічні способи для цього не можуть бути застосовані, тому що в цьому разі відбувається хімічне забруднення залишками реагентів (Wang, & An, 2021).

Для руйнування органічних речовин у стічних водах пивоварної галузі можливим є застосування тільки біохімічного (або мікробіологічного) методу, адже кінцевими продуктами розкладу речовин є вуглекислий газ і вода.

Головною метою використання біохімічних методів очищення стічних вод є максимальне використання всіх поживних речовин, що містяться в стічній воді. Саме тому, для переробки вторинної сировини доцільно використовувати змішані культури мікроорганізмів, здатні в симбіозі утилізувати різні органічні сполуки (Chaisuwan, & Jantanasakulwong, 2020).

Застосування технології метанового бродіння передбачає утилізацію відходів з отриманням корисних продуктів як для потреб людини, так і для відгодівлі сільськогосподарських тварин. Кінцевими продуктами використання технології метанового бродіння при очищенні стічних вод є отримання цінного кормового білка й біогазу, що може бути використаний на підприємствах пивоварної галузі для технологічних і побутових потреб (Marwani, & Kurniawan, 2019).

Мета дослідження: розробка комплексної технології очищення стічних вод пивоваріння за допомогою технології метанового бродіння з отриманням біогазу та кормової мікробної біомаси.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження обрано стічні води пивоварної галузі, оскільки технологія їх утилізації та ефективної очистки є недосконалою.

Підготовка води здійснювалась згідно з ТУ У 29.2-31582737-001-2003. Концентрації солей визначали за стандартними методиками (Накорчевська, & Аргатенко, 2000).

Загальний вміст білків, якісний і кількісний склад амінокислот мікробної біомаси визначали за методикою (Redwejk et al., 2012) з використанням капілярного електрофорезу.

Вміст рослинної клітковини у кормовій мікробній біомасі визначали методом прямого вагового аналізу, сутність якого полягає в окисленні, руйнуванні та розчиненні різних хімічних сполук, крім клітковини, яку потім видаляють, висушують і зважують (Kumar, & Turner, 2015).

У дослідях з отримання кормової мікробної біомаси проводилося визначення вмісту незамінних амінокислот (Kubala, 2022).

Аналіз кількісного вмісту біогазу в газоподібній суміші здійснювався за спрощеною методикою, шляхом розподілу їх на дві частини — складники з пальними компонентами (вміщують метан і водень) та з непальними домішками (вуглекислий газ та азот). Детальні попередні аналізи показали, що при метановому зброджуванні стічних вод пивоваріння практично відсутні сірководень та азот, і, як наслідок, неспалену частину газів складає вуглекислота, що легко відділяється від метану шляхом пропускання газів через ємність розчину лугу. В пальних газах, що залишаються, міститься водень (не перевищує 1%), а основну частину складає метан. Отже, газоподібні продукти, що утворюються при метановому бродінні, практично складає суміш метану та вуглекислого газу, що розділяється за спрощеною методикою — шляхом пропускання через розчин лугу.

Викладення основних результатів дослідження. Основними результатами дослідження було встановлення оптимальних параметрів метанового бродіння: швидкості подачі середовища в апарат, кількості продукту, що утворюється та інших важливих показників, за якими роблять висновки щодо ходу метанової

ферментації та визначення необхідних параметрів контролю процесу. Перебіг метанового бродіння можна оцінити за визначенням рН культуральної рідини — це значення не повинно бути нижче 7. На практиці такий показник значення рН середовища означає, що бродіння не відхиляється у бік утворення кислот, а відбувається з утворенням нейтральних чи лужних продуктів, характерних для істинного процесу метанового бродіння.

Принципову схему зброджування стічних вод пивоварного виробництва зображено на рис. 1.

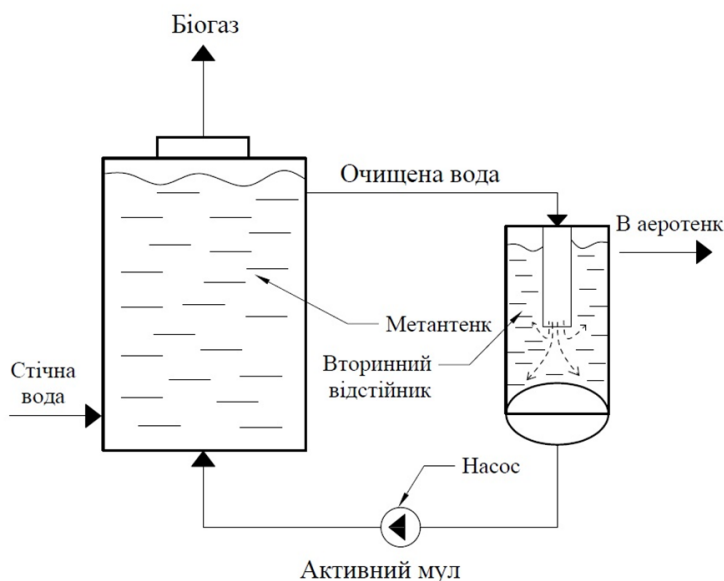


Рис. 1. Схема метанового зброджування стічних вод пивоварного виробництва

У табл. 2 наведено результати, що характеризують зміну основних показників періодичного метанового бродіння стічних вод пивоварного підприємства. Проби взяті в період мийки обладнання, коли забруднення стічних вод є високим та сягає 2700 мг O_2 /л за ХСК.

Таблиця 2. Основні показники процесу метанового бродіння стічних вод пивоварного виробництва в періодичному режимі

Показники		ХСК, мг O_2 /л	ЛЖК, г/л	Молочна кислота, г/л	рН	Об'єм газу, л/л	Співвідношення $CH_4:CO_2$
Початкові		2700	0,3	1,5	7,2	—	—
Після посіву		2100	0,3	1,1	7,1	—	—
Тривалість бродіння, діб	1	1900	0,3	1,0	7,2	0,62	—
	2	—	—	—	7,3	2,4	—
	4	1700	1,8	1,4	7,1	3,1	80:20
	6	—	—	—	7	3,0	76:24
	8	1400	2,4	1,7	7,4	1,8	81:19
	10	—	—	—	7,2	1,0	—

Продовження таблиці 2

	12	1100	4,1	1,5	7,3	0,4	70:30
	14	—	—	—	7,2	0,32	—
	16	750	4,4	1,9	7,2	0,24	50:50

Аналіз табл. 2 показує, що в досліджуваних стічних водах міститься невелика кількість летких жирних кислот — 0,3 г/л. Джерела походження можуть бути різними. Частково вони утворюються в результаті розвитку мікроорганізмів у стічній воді. Молочна кислота завжди присутня в стічних водах пивзаводів, її концентрація у цьому різі складає 1,5 г/л. Присутність молочної кислоти в стічних водах будь-якого походження є сприятливою умовою для процесу метанової ферментації, тому що вона легко перетворюється в піровиноградну кислоту (ПВК), яка є одним з попередників утворення метану.

Результати досліджень, наведені в табл. 2, показують, що зниження ХСК у початковий період ферментації було значним: з 2700 до 2100 мг/л. Зменшення показників відбувається за рахунок споживання хімічних речовин, що не враховувалися в цьому досліді, — амінокислот, білків і вищих жирних кислот. Зниження ХСК відбувалося протягом 16 діб, після чого метанове бродіння фактично припинилося, адже кількість газів, що виділялася, незначна (0,24 л/л). Кінцеве ХСК складало 750 мг/л. Аналіз проведених досліджень вказує на високий ступінь очищення — 75%.

Результати, отримані в ході експериментальних досліджень процесу періодичного метанового бродіння, дають уяву про те, наскільки цей процес є ефективним при ліквідації забруднень стічних вод пивоварної промисловості.

Для визначення практичної цінності й економічної доцільності втілення такого методу на виробництві проведено досліді щодо кількісного та якісного складу газоподібних продуктів, що утворюються в процесі метанового зброджування. Так, загальний об'єм газів, що утворився, складає більше 12 л/л. Цей показник є вагомою величиною для оцінки економічної ефективності заходу.

Аналізуючи динаміку показників метанового бродіння стічних вод пивоварного виробництва, слід зазначити, що суттєве зниження значення ХСК відбувалося в перші вісім діб від початку бродіння. Для повної деструкції органічних речовин необхідно створити особливі умови: оптимальне співвідношення активного мулу та вуглеводів, при якому досягається рівновага між кількістю попередників метану та швидкістю їх перетворення в метан. В усіх інших випадках відбувається перетворення попередників метану в продукти неповного анаеробного окислення — нижчі жирні кислоти. Процес метанового бродіння порушується і направити його у зворотному напрямку неможливо. Це явище гальмування процесу утворення метану можна умовно назвати ефектом репресії метаногенезу. Його механізм такий: швидкість деструкції простих вуглеводів є надто високою, що призводить до інтенсивного накопичення попередників метану та перетворення їх надлишків у продукти неповного окислення. Для вибору оптимального режиму ферментації необхідним є використання різної кількості активної культури метаноутворюючих бактерій. При виконанні серії дослідів відбувалося інтенсивне бродіння, однак воно доходило лише до стадії утворення кислот і в жодному разі не переходило в метанове бродіння.

Концентрація летких жирних кислот, як видно з результатів досліджу, в культуральній рідині зростає, незважаючи на те, що за всіма показниками процес ферментації відбувався в межах норми. Це свідчить про те, що частина попередників метану, навіть при порівняно невисокій кількості вуглеводів у зброджувальному середовищі, перетворюється в продукти напіврозкладу. Це підтверджує нестійкий характер метанового бродиння на середовищах з вуглеводами та велику ймовірність можливості утворення кислот.

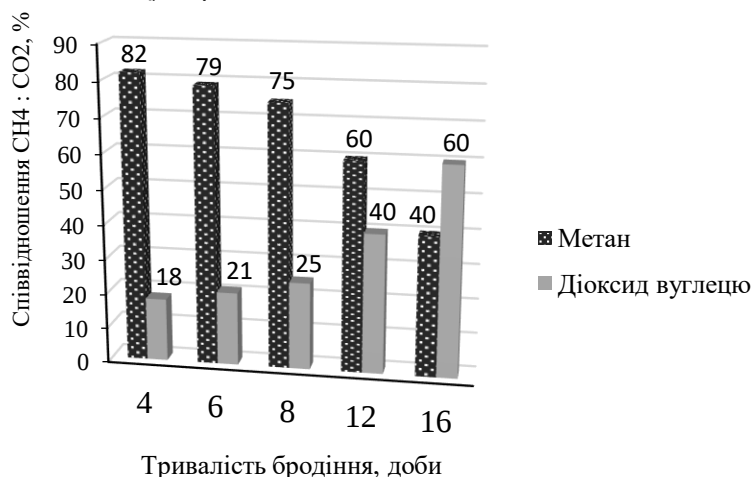


Рис. 2. Динаміка газоутворення при зброджуванні стічних вод пивоварного виробництва

Аналіз рис. 2 показує, що співвідношення газів, тобто відносна кількість метану, протягом майже всього періоду бродиння було майже постійним. З урахуванням отриманого співвідношення $\text{CH}_4:\text{CO}_2$, горіння суміші відбувається аналогічно горінню чистого метану, що є свідченням того, що цей вид біогазу може бути використаний як біопаливо.

Перевагою дослідження параметрів метанового бродиння при періодичному процесі є практично ідеальне встановлення оптимальних показників бродиння в лабораторних умовах. Але на практиці, при впровадженні таких технологій у виробництво, необхідним є застосування проточного (безперервного) режиму культивування.

Найважливішим параметром перебігу процесу проточного культивування є встановлення оптимальних температурних параметрів метанового бродиння. Відомим є факт, що метанове бродиння може відбуватися при різних температурах, але при різких змінах процес може бути порушений.

Для вибору оптимального температурного режиму процесу було проведено метанове зброджування стічних вод пивоварної галузі при мезофільному та термофільному режимах.

При мезофільному режимі, при температурі 35 °C через 10 діб від початку ферментації, значення рН культуральної рідини починало зменшуватися, що свідчило про порушення процесу. Відбувалося явище, відоме під назвою «закисання

середовища». При припиненні подачі посівного матеріалу реакція середовища поступово змінювалася на лужну, а потім — нормалізувалася. Зниження рівня рН свідчить про те, що прийнята швидкість потоку є зовнішньою, тому органічні речовини не встигали зброджуватися так, щоб забезпечити відповідні показники процесу метанового бродіння.

При температурі 45 °С процес метанової ферментації відбувався протягом 20 діб і весь час значення рН залишалось незмінним — 9,0...9,2.

У процесі зброджування із 100 мл стічних вод утворювалось 650...700 см³ біогазу. Така кількість біогазу є досить значною для пивоварної галузі. Попередні дослідження при температурі 40 °С дають вихід біогазу у межах 450...500 см³ (Домарецький, 1999). Підвищення температури на 5 °С дає змогу оптимізувати процес метанового бродіння й отримати значно більший вихід біогазу. Для встановлення кількісних показників вмісту чистого метану біогаз був пропущений через газгольдер. У ході дослідів було встановлено, що об'єм чистого метану складає 520...550 см³. Ця кількість біогазу є значною для покриття енерговитрат підприємства.

Початкове значення ХСК стічних вод пивоварної галузі становило 2700 мг О₂/л, а після метанового бродіння — 760 мг О₂/л.

При досягненні встановленого режиму, тобто стабільного значення рН та інших показників метанової ферментації, проведено аналізи культуральної рідини. Так, значення рН було типовим для метанового бродіння, тому ступінь деградації сухих речовин для цього виду середовища вважається цілком прийнятним.

Найважливіший показник ступеня очищення стічних вод — значення ХСК, оскільки його зміна пов'язана з деградацією органічних речовин. У цій серії дослідів хімічне споживання кисню вказує на високий ступінь очистки. Кінцеве значення ХСК зброжених стічних вод становить 760 мг О₂/л. Однак скидання стічних вод у загальну каналізаційну мережу з таким значенням ХСК є недопустимим. Для досягнення оптимальних параметрів очищення доцільним є використання аеробної ферментації як додаткової стадії очищення.

Аеробне очищення стічних вод є оптимальним при параметрах забруднення нижче 1000 мг О₂/л.

Проведені дослідження дають такі результати: після 24 год аерації ХСК стічних вод становило 300 мг О₂/л, а після 96 годин — 20 мг О₂/л. Результати досліджень наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Показники аеробної ферментації

Тривалість бродіння, діб	Хімічне споживання кисню, мг О ₂ /л	Тривалість, год
1	760	0
24	360	12
48	300	24
72	80	36
96	20	48

Проведений аналіз дослідів показав, що застосування технології метанового бродіння для очищення стічних вод пивоварної галузі з використанням технології

метанового бродіння надає можливість суттєво знизити забрудненість стоків та отримати біогаз, використання якого забезпечує значну економію коштів на підприємстві.

Висновки

Аналітичний огляд сучасного екологічного стану підприємств пивоварної промисловості показав, що стічні води виробництва мають високий ступінь забруднення. Для їх очищення найбільш доцільним є використання процесу метанового бродіння.

Отримано оптимальні показники процесу метанового зброджування стічних вод пивоварного виробництва в періодичному режимі, проаналізовано їх динаміку та встановлено критичні точки перебігу процесу, при яких метанове бродіння припиняється й подальше застосування процесу є малоефективним.

Після закінчення процесу метанового бродіння стічні води мають високий ступінь очищення, що забезпечує їх подальше використання в оборотній системі водопостачання підприємств пивоварної галузі.

На прикладі утилізації стічних вод пивоваріння доведено, що кількість біогазу, отриманого в процесі метанового зброджування, є достатньою для покриття значних виробничих енерговитрат підприємства.

Література

- Домарецький, В. А. (1999). *Технологія солоду та пива*. К.: Урожай.
- Мелетьєв, А. Є., Тодосійчук, С. Р., & Кошова, В. М. (2007). *Технохімічний контроль солоду, пива та безалкогольних напоїв*. Вінниця: Нова книга.
- Накорчевська, В. Ф., Аргатенко, Т. В. (2000). *Хімія води і мікробіологія*. Вправи і методичні вказівки до їх виконання. К.: КНУБА.
- Никулишин, І. Є., Дзіняк, Б. О., Піх, З. Г., Оробчук, О. М., & Кічура, Д. Б. (2019). *Біохімія бродильних виробництв*. Львів: видавництво Т. Сороки.
- Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. В. 2 ч. (1980). К.: Наукова думка.
- Alfuraydi, A. A., Devanesan, S., Al-Ansari, M., Al-Salhi, M. S., Ranjitsingh, A. J. (2019). Eco-friendly green synthesis of silver nanoparticles from the sesame oil flour and its potential anticancer and antimicrobial activities. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 192, 83—89. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.01.011>.
- Białecka-Florjańczyk, E., Florjańczyk, Z. (2007). Solubility of plasticizers, polymers and environmental pollution. T. Letcher (Ed.), *Biology*, Elsevier, New York, 397—407. doi: 10.1016/B978-044452707-3/50024-0.
- Global Alternative Proteins Market (2020). Market Insights, Covid-19 Impact, Competition and Forecast (2020—2025). Режим доступу: <https://azothanalytics.com/report/food-beverage-and-agriculture/global-alternative-proteins-market-analysis-by-product-application-by-region-by-country-2020-edition-market-insights-covid-19-impact-competition-and-forecast-2020-2025> (access date: 7.10.2021).
- Ferreira, S., Pereira, R., Wahl, S. A., Rocha I. (2020). Metabolic engineering strategies for butanol production in *Escherichia coli*. *Biotechnol. Bioeng.*, 117(8), 2571—2587. doi: 10.1002/bit.27377.
- Heavin, C., Power, D. J. (2018). Challenges for digital transformation-towards a conceptual decision support guide for managers. *Journal of Decision Systems*. *Journal of Decision Systems*, 27, 38—45. <https://doi.org/10.1080/12460125.2018.1468697>.
- Kamiloglu, S., Pasli, Ayca A., Ozcelik, B., Camp John, V., Capanoglu, E. (2015). Influence of different processing and storage conditions on in vitro bioaccessibility of polyphenols in black carrot jams and marmalades. *Food Chemistry*, 186, 74—82. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.12.046.

Kumar, M., Turner, S. (2015). Protocol: a medium-throughput determination of cellulose content from single stem pieces of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Methods*, 11. <https://doi.org/10.1186/s13007-015-0090-6>.

Marwani, E., Kumiawan, I. (2019). Biomass and Algal Oil Productivity with Fatty Acid Profiles of *Botryococcus* Sp. Cultures Under Different Concentrations of Nitrogen. *Indian Journal of Science and Technology*, 12(47). doi: 10.17485/ijst/2019/v12i47/148651.

Mas, A. L., Brigante, F. I., Salvucci, E., Ribotta, P., Martinez, M. L., Wunderlin, D. A., Baroni, M. V. (2022). Novel cookie formulation with defatted sesame flour: Evaluation of its technological and sensory properties. Changes in phenolic profile, antioxidant activity, and gut microbiota.

Reshef, O., Aharonovich, I., Armani, A. M., Gigan, S., Grange, R., Kats, M., Sapienza, R. (2020). *Nature Reviews Materials*, 5, 253—256.

Semkiv, M. V., Ruchala, J., Dmytruk, K. V., Sibirny, A. A. (2020). 100 Years later, what is new in glycerol bioproduction? *Trends Biotechnol.*, 38(8), 907—916. doi:10.1016/j.tibtech.2020.02.001.

Shah, B. R., Li, B., Sabbah, H. A., Xu, W., Mraz, J. (2020). Effects of prebiotic dietary fibers and probiotics on human health: With special focus on recent advancement in their encapsulated formulations. *Trends in Food Science & Technology*, 102. 178—192. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.010>.

Wang, W., An, C., Yao, Y., Meng, X., Gao, S. S. (2021). De novo biosynthesis and gram-level production of m-cresol in *Aspergillus nidulans*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 105, 6333—6343. doi: 10.1007/s00253-021-11490-w.

Zhao, E. M., Zhang, Y., Mehl, J., Park, H., Lalwani, M. A., Toettcher, J. E., Avalos, J. L. (2018). Optogenetic regulation of engineered cellular metabolism for microbial chemical production. *Nature*, 555, 683—687. doi:10.1038/nature26141.

Zhou, Z. Y., Yang, S. T., Moore, C. D., Zhang, Q. H., Peng, S. Y., Li, H. G. (2020). Acetone, butanol, and ethanol production from puerariae slag hydrolysate through ultrasound-assisted dilute acid by *Clostridium beijerinckii* YBS3. *Bioresour. Technol.*, 316, 123899. doi: 10.1016/j.biortech.2020.123899.

Martinez-Medina, G. A., Chávez-González, M. L., Kumar, Verma D. et al. (2021). Bio-funcional components in mushrooms, a health opportunity: Ergothionine and huitlacoche as recent trends. *Journal of Functional Foods*, 77, 104326. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464620305508?via%3Dihub> (access date 07.10.2021).

Chaisuwan, W., Jantasakulwong, K., Wangtueai, S., Phimolsiripol, Y., Chaiyaso, T., Techapun, C. et al. (2020). Microbial exopolysaccharides for immune enhancement: fermentation, modifications and bioactivities. *Food Bioscience*, 35:100564. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100564>.

Kubala, J. (2022). Essential Amino Acids: Definition, Benefits, and Food Sources. Healthline. Retrieved from <https://www.healthline.com/nutrition/essential-amino-acids>.

Kumar, M., Turner, S. (2015). Protocol: a medium-throughput determination of cellulose content from single stem pieces of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Methods*, 11. <https://doi.org/10.1186/s13007-015-0090-6>.

Zhao, E. M., Zhang, Y., Mehl, J., Park, H., Lalwani, M. A., Toettcher, J. E., Avalos, J. L. (2018). Optogenetic regulation of engineered cellular metabolism for microbial chemical production. *Nature*, 555, 683—687. doi:10.1038/nature26141.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO DETERMINING THE LEVEL OF FOOD SECURITY OF THE STATE

L. Strashynska, O. Sheremet, O. Mykhailyk

National University of Food Technologies

Key words:

*Food security
Rational consumption
standards
Level of self-sufficiency
Caloric content
Sufficiency and
availability of food
consumption*

Article history:

Received 02.03.2023
Received in revised form
15.03.2023
Accepted 31.03.2023

Corresponding author:

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

ABSTRACT

The article examines theoretical and methodological approaches to the definition of the concept of "food security", but it is noted that there is no official interpretation of this concept at the legislative level. A number of criteria for assessing the level of food security are substantiated, the use of which is provided in aggregate, while the level of food security can be assessed as satisfactory based on the overall positive result of the evaluation criteria.

The level of self-sufficiency in the main types of food in Ukraine was studied. It was determined that despite the fairly high level of self-sufficiency of Ukraine at the current stage of development, when consumption approaches rationally recommended norms, the state may face problems of significantly increasing food production.

The level of sufficiency of food consumption was analyzed. It was found that Ukraine is significantly behind in 2020 both from rationally recommended consumption norms and from the level of consumption of economically developed countries of the world.

An indicator of insufficiency (inferiority) of nutrition is proposed, which should be called the deficit of food consumption and calculated as the difference between the actual and rational levels of food consumption both for the entire set of food products and for its individual components.

It was studied that the lack of consumption of high-calorie products such as meat and meat products, milk and dairy products, fish and fish products was mainly replaced by low-calorie products, vegetables, namely potatoes and melon food crops. It is proposed to divide countries into groups depending on the level of caloric content of food consumption.

The level of availability of food consumption was analyzed. The low price availability for the population of high-calorie food products was determined, as well as a significant percentage of expenses in the structure of household incomes for food products, which indicates the poverty of the country compared to European countries.

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ

Л. В. Страшинська, О. О. Шеремет, О. М. Михайлик

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено теоретико-методологічні підходи до визначення поняття «продовольча безпека», проте зауважено, що на законодавчому рівні відсутнє офіційне трактування цього поняття. Обґрунтовано низку критеріїв оцінки рівня продовольчої безпеки, використання яких передбачено в сукупності, при цьому рівень продовольчої безпеки може оцінюватись як задовільний на основі сукупного позитивного результату всіх оціночних критеріїв.

Визначено рівень самозабезпеченості основними видами продовольства в Україні. З'ясовано, що незважаючи на досить високий рівень самозабезпеченості України на сучасному етапі розвитку, при наближенні споживання до раціонально рекомендованих норм держава може стикнутися з проблемами значного порушення виробництва продовольства.

Проаналізовано рівень достатності продовольчого споживання. З'ясовано значне відставання України у 2020 р. як від раціонально рекомендованих норм споживання, так і від рівня споживання економічно розвинених країн світу. Запропоновано показник недостатності (неповноцінності) харчування, який доцільно називати дефіцитом продовольчого споживання й обчислювати його як різницю між фактичним і раціональним рівнями продовольчого споживання як для всього набору продуктів харчування, так і для окремих його складових.

Досліджено, що недоспоживання таких висококалорійних продуктів, як м'ясо та м'ясні продукти, молоко та молочні продукти, риба та рибні продукти заміщувалось в основному продуктами низької калорійності, зокрема картоплею, овочами та багатими продовольчими культурами. Запропоновано розподіл країн на групи залежно від рівня калорійності продовольчого споживання. Проаналізовано рівень доступності продовольчого споживання. Визначено низьку цінову доступність для населення висококалорійних харчових продуктів, а також значний відсоток витрат у структурі доходів домогосподарств на харчові продукти, що свідчить про бідність нашої країни порівняно з європейськими державами.

Ключові слова: продовольча безпека, раціональні норми споживання, рівень самозабезпеченості, калорійність, достатність і доступність продовольчого споживання.

Постановка проблеми. Визначальне значення щодо необхідності забезпечення першочергових потреб людини в харчових продуктах для підтримки нормальної життєдіяльності населення належить продовольчому ринку, стратегічним вектором розвитку якого є забезпечення продовольчої безпеки держави. Тому й не дивно, що країни, які успішно вирішили проблему власної продовольчої безпеки, й дотепер очолюють список найрозвиненіших країн світу. Актуальність розв'я-

зання цієї проблеми вимагає передусім визначення та застосування якісного інструментарію для оцінки рівня продовольчої безпеки стосовно основних оціночних критеріїв, обґрунтування їх взаємозв'язку та взаємовпливу, розрахунку значень для оцінки поточної ситуації з метою можливостей подальшого регулювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченню проблем, пов'язаних із забезпеченням продовольчої безпеки, оцінкою її рівня та прогнозування, присвячено велику кількість наукових праць вітчизняних вчених-економістів. Зокрема, розвиток підходів до трактування поняття «продовольча безпека», а також розкриття сутності продовольчої безпеки як складової забезпечення економічної безпеки України в стратегічному форматі та як важливого індикатора конкурентоспроможності національної економіки знайшли відображення у таких дослідженнях (Павловська, 2022; Шевченко, 2022; Вараксіна, 2020). Питання формування системи продовольчої безпеки України, оцінка її сучасного стану та актуальні проблеми сьогодення висвітлено в працях (Гринишин, 2021; Палапа, Демянюк, & Нагорнюк, 2022). Проблемам розвитку продовольчої безпеки як економічного пріоритету аграрної політики України та продовольчій безпеці агробізнесу в контексті викликів пандемії COVID-19 присвячено праці (Зеліско, 2019; Княженко, Трошкін, & Нехамкін, 2021). Регіональна продовольча безпека, її сутність та інструменти управління віддзеркалено в (Кіреєва, 2014). Поєднання продовольчої безпеки з безпекою харчування в аспекті стійкості продовольчої системи досліджується в (Кундєєва, & Скопенко, 2022). Проблеми прогнозування рівня продовольчої безпеки України висвітлено в (Стариченко, 2019). Трансформація засад забезпечення продовольчої безпеки розглядається у (Франчук, Мельник, Гобела, & Курляк, 2022). Проте протягом останніх років питання методичного забезпечення оцінювання рівня продовольчої безпеки держави залишалися поза увагою дослідників, що й визначає актуальність пропонованої статті.

Метою статті є розробка методичних підходів до оцінювання рівня продовольчої безпеки за допомогою сукупності основних оціночних критеріїв у їх взаємозв'язку з огляду на взаємозалежність їх впливу, визначення значень та обґрунтування відповідних висновків щодо подальшого забезпечення необхідного рівня продовольчої безпеки держави.

Матеріали і методи. Мета дослідження у статті досягалась за допомогою використання низки методів наукових досліджень. Відповідно до класифікації методів наукового дослідження за рівнем методологічного аналізу в статті використані такі методи загальнонаукового рівня: аналітико-синтетичний, системно-структурний, логічний, факторний. При розгляді конкретно-наукової методології застосовувались типологічні методи (описовий, нормативний, структурний). Спираючись на загальноприйнятую класифікацію наукових методів дослідження, які поділяються на загальнонаукові і конкретно наукові (емпіричні), використані такі загальнонаукові методи дослідження: аналізу і синтезу, індукції та дедукції — при визначенні основних оціночних критеріїв рівня продовольчої безпеки держави; системного аналізу — при визначенні структури сукупних витрат домогосподарств в Україні; ранжирування — при обґрунтуванні розподілу країн на групи за рівнем калорійності середньодобового раціону; систематизації — при оцінці калорійності середньодобового раціону населення в окремих країнах; узагальнення та аргументації — при обґрунтуванні доказовості і переконливості висновків.

Серед емпіричних методів дослідження використано: вимірювання — при визначенні рівня самозабезпеченості основними видами продовольства; порівняння — при оцінці споживання основних продуктів харчування, а також оцінці середньодобового споживання населенням України основних мікро- та мікроелементів у складі продуктів харчування.

Викладення основних результатів дослідження. В умовах глобальних змін у світовому економічному просторі посилюється значення необхідності забезпечення економічної безпеки держави. В її структурі, поряд з енергетичною, виробничою, транспортною, зовнішньоекономічною, фінансовою, інвестиційною та соціальною, значне місце відводиться продовольчій безпеці. Продовольча безпека держави на сучасному етапі розвитку ринкових відносин розглядається як такий стан економіки країни, за якого уможливорюється захищеність життєво важливих інтересів людини, громади, регіону і держави в частині гарантування фізичної, економічної та соціальної доступності, безпечності та якості продуктів харчування, стабільності продовольчого забезпечення населення та продовольчого суверенітету (Гринишин, 2021).

Зауважимо, що перші спроби застосування поняття «продовольча безпека» було зроблено у 1972 р. в Стокгольмі при розробці плану вирішення продовольчої проблеми у світі. Проте виникнення специфічних факторів не дало вирішити цю проблему як на глобальному рівні, так і на рівні окремих держав.

У 1974 р. поняття «продовольча безпека» було офіційно введено в наукову термінологію на Всесвітньому продовольчому саміті (WFS), де його зміст інтерпретувався як доступність у будь-який час необхідних світових продовольчих запасів основних продуктів харчування для сталого росту споживання і компенсації коливань виробництва та цін (Гринишин, 2021).

У 1996 р. було оприлюднено поглиблений підхід до інтерпретації поняття «продовольча безпека» у ракурсі його існування на міжнародному, регіональному, національному, домашньому (рівень домогосподарства), індивідуальному рівнях.

В Україні спроби надати вичерпне тлумачення поняттю «продовольча безпека» було здійснене багатьма вченими-економістами й натеper відомо близько 200 визначень цього поняття в різних інтерпретаціях, проте законодавчо-нормативне підґрунтя й донині залишається відсутнім. 22 грудня 2011 р. Верховною Радою України був прийнятий Закон України «Про продовольчу безпеку України», але 10 січня 2012 р. він був повернутий Президентом України за №8370-1 із пропозиціями на доопрацювання. Натеper існує проєкт Закону «Про продовольчу безпеку України», який чекає свого розгляду.

Фахівцями Національного інституту стратегічних досліджень продовольчу безпеку визначено як «стан забезпечення населення продовольством на рівні, що гарантує кожному громадянину можливість повноцінного раціонального харчування якісними продуктами, задоволення дієтичних і специфічних смакових потреб населення» (Шевченко, 2022).

Низкою фахівців продовольча безпека подається як стан економіки країни, який незалежно від становища світових ринків надає можливість забезпечення країни продовольством у достатній кількості, а населення має можливість його придбати; це насамперед забезпечення певного вітчизняного рівня виробництва,

який дає змогу перебувати у межах від підтримання критичного мінімуму до повного самозабезпечення. Продовольчу безпеку держави також трактують як міждисциплінарне соціально-економічне явище, що характеризує можливість держави забезпечити населенню збалансоване повноцінне харчування якісними й безпечними продуктами за умов належного фізичного й економічного доступу до них на основі внутрішньої продовольчої незалежності держави (Гринишин, 2021).

Незважаючи на відсутність загальноприйнятого визначення сутності поняття «продовольча безпека» у вітчизняній економічній літературі, авторами пропонованої статті здійснена спроба узагальнити існуючі підходи щодо оцінки рівня продовольчої безпеки держави та запропонувати власні методичні підходи до її оцінки.

Як основні оціночні критерії визначення рівня продовольчої безпеки держави авторами пропонується використовувати такі:

- продовольчу незалежність;
- достатність продовольчого споживання;
- доступність продовольчого споживання.

Причому, з точки зору авторів, рівень продовольчої безпеки може оцінюватись як задовільний лише на основі сукупного позитивного результату всіх оціночних критеріїв, а не кожного окремо, як це розглядається в працях багатьох учених-економістів.

Критерій продовольчої незалежності являє собою частку продовольчого імпорту в загальному обсязі продовольчого споживання або частку продукції вітчизняного виробництва в забезпеченні галузей АПК основними виробничими ресурсами. На думку багатьох закордонних дослідників і відповідно до світової практики, загроза продовольчій незалежності виникає тоді, коли імпорт або імпортна квота перевищує 20—30%. В іншому випадку ситуацію щодо цього оціночного критерію можна вважати задовільною. Проте, з нашої точки зору, такий підхід є дещо обмеженим, оскільки не враховує ситуацію щодо наступного оціночного критерію, про який ітиме мова нижче.

Рівень самозабезпеченості в Україні основними видами продовольства протягом 2018—2020 рр. представлено в табл. 1.

Таблиця 1. Рівень самозабезпеченості основними видами продовольства у 2018—2020 рр., %

Види продуктів	Роки			2020 р. (+/-) порівняно з	
	2018	2019	2020	2018 р.	2019 р.
Зерно	319,2	341,3	323,3	+ 4,1	- 18,0
М'ясо та м'ясні продукти	105,0	110,2	110,1	+ 5,1	- 0,1
Молоко та молочні продукти	107,5	103,1	99,1	- 8,4	- 4,0
Яйця	123,9	125,9	125,0	+ 1,1	- 0,9
Картопля	101,5	100,0	100,1	- 1,4	+0,1
Фрукти, ягоди, виноград	91,3	78,1	75,9	- 15,4	- 2,2
Овочі та продовольчі баштанні	103,4	104,0	104,6	+ 1,2	+0,6

Примітка: розраховано авторами за Баланси та споживання основних продуктів харчування населенням України 2020 р., 2021.

Дані табл. 1 свідчать про те, що практично за всіма основними видами продуктів ситуація щодо самозабезпеченості у 2020 р. не є загрозливою. Зокрема, за цей період рівень самозабезпечення по зерну складає 323,3%, м'ясу і м'ясним продуктам — 110,1%, яйцям — 125,0%, картоплі — 100,1%, овочам та продовольчим баштанним — 104,6%. Рівень самозабезпечення по молоку та молочним продуктам наближений до норми і складає 99,1%. Дещо гірша ситуація спостерігається стосовно плодів, ягід і винограду (75,9%). Проте ситуацію за цими видами продукції можна вважати не дуже критичною, оскільки значна частина фруктів, попит населення на які впродовж останніх років підвищується, не вирощується в Україні (банани, ківі, мандарини, апельсини, гранати тощо), що передбачає збільшення імпорту цієї продукції для насичення ринку та забезпечення різноманітності вибору.

Якщо аналізувати досягнутий рівень самозабезпеченості за основними видами продовольства у 2020 р. порівняно з 2018 р., зазначимо, що за низкою харчових продуктів ситуація покращилася, зокрема зерно (+4,1%), м'ясо та м'ясні продукти (+5,1%), яйця (+1,1%), овочі та продовольчі баштанні (+1,2%). Проте у 2020 р. порівняно з попереднім роком практично за всіма видами продукції ситуація погіршилася, за винятком картоплі (+0,1%) та овочів і продовольчих баштанних (+0,6%).

Отже, динаміка показників рівня самозабезпечення протягом 2018—2020 рр. загалом свідчить про задовільні тенденції на сучасному етапі розвитку продовольчого ринку. Практично за всіма видами продукції ситуація впродовж зазначеного періоду суттєво не змінилась. Характеризується стабільністю з незначними відхиленнями ситуація стосовно м'яса і м'ясних продуктів, яєць, картоплі, овочів і продовольчих баштанних. Проте ситуація в молочному скотарстві щодо зниження поголів'я великої рогатої худоби, зменшення фермерських господарств та зниження якості молока, яке надходить на переробні підприємства, не призведе протягом найближчих років до зростання обсягів виробництва цієї продукції вітчизняними товаровиробниками, і, відповідно, й не сприятиме підвищенню рівня самозабезпечення відносно цієї продукції.

Протягом цих років рівень самозабезпеченості зерном залишається на рівні, що перевищує внутрішні потреби втричі, тому саме зерно залишається тим продуктом, за рахунок якого Україна може розраховувати на стабільні значні валютні надходження. Проте широкомасштабна російська агресія, безумовно, внесе значні корективи щодо вирощування цієї культури в найближчій перспективі в бік суттєвого скорочення обсягів її виробництва, і, відповідно, й рівня самозабезпечення.

Але, на думку авторів, зважаючи на оцінку показників табл. 2, зазначену ситуацію стосовно оцінки рівня продовольчої безпеки в цілому не можна вважати задовільною через значне відставання у споживанні населенням України основних харчових продуктів та неспроможності в найближчій перспективі нарощування обсягів вітчизняного виробництва для забезпечення населення в межах раціонально рекомендованих норм.

Наступним оціночним критерієм рівня забезпечення продовольчої безпеки, на думку авторів, вважається критерій достатності продовольчого споживання відносно раціональних рекомендованих норм.

Рациональні норми споживання харчових продуктів — це рекомендовані обсяги споживання основних харчових продуктів, які відповідають сучасним вимогам здорового харчування, необхідного для забезпечення активного і здорового життя (Стариченко, 2019).

Ситуацію щодо зазначеного оціночного критерію демонструють дані, представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Споживання основних продуктів харчування, на одну особу в рік, кг

Види продуктів	Рациональні норми споживання	Споживання в ЄС (25 країн)	Фактично в Україні			2020 р. у % до	
			2000 р.	2010 р.	2020 р.	раціональних норм	2010 р.
М'ясо та м'ясні продукти	83	95	32,8	52,0	53,8	64,8	103,5
Молоко та молочні продукти	380	363	199,1	206,4	201,9	53,1	97,8
Яйця, штук	290	222	166	290	278	95,9	95,9
Риба та рибні продукти	20	24	8,4	14,5	12,4	62,0	85,5
Хлібні продукти	101	91	124,9	111,3	96,6	95,6	86,8
Картопля	124	81	135,4	128,9	134,0	108,1	104,0
Овочі та баштанні продовольчі культури	161	116	101,7	143,5	164,0	101,9	114,3
Плоди, ягоди та виноград	90	110	29,3	48,0	56,5	62,8	117,7
Цукор	38	41	36,8	37,1	27,8	73,2	74,9
Олія	13	19	9,4	14,8	12,3	94,6	83,1

Примітка: розраховано авторами за Баланси та споживання основних продуктів харчування населенням України 2020 р., 2021.

Аналізуючи дані табл. 2, слід зазначити, що впродовж 2000—2020 рр. саме 2010 р. для України був найбільш сприятливим у цілому, але не за всіма основними продуктами харчування спостерігається означена тенденція. Зокрема, у 2010 р. спостерігаються найвищі показники споживання на одну особу в рік за такими продуктами, як молоко та молочні продукти (206,4 кг), яйця (290 шт.), риба та рибні продукти (14,5 кг), цукор (37,1 кг), олія (14,8 кг).

Позитивні тенденції зростання споживання на одну особу в рік у період 2000—2020 рр. спостерігаються за низкою таких продуктів: м'ясо та м'ясні продукти (з 32,8 до 53,8 кг); овочі та баштанні продовольчі культури (з 101,7 до 164,0 кг); плоди, ягоди та виноград (з 29,3 до 56,5 кг).

Лише за одним видом продукції спостерігається стабільне зниження споживання — це хлібні продукти (з 124,9 до 96,6 кг). Проте зазначені тенденції не можна вважати негативними, оскільки раціональна норма споживання цієї продукції складає 101 кг на одну особу в рік, а зазначене перевищення цього показника впродовж попередніх років свідчить про те, що за рахунок цієї продукції населення України покривало неспроможність придбання більш дорогої та калорійної продукції.

Оцінюючи фактичний рівень споживання основних продуктів харчування за цим критерієм відносно раціональних норм споживання, можемо констатувати досить загрозливі тенденції. У 2020 р. населення України споживало достатню

кількість харчових продуктів у розрахунку на одну особу лише за двома видами продукції: картопля (134,0 кг або +8,1%); овочі та баштанні продовольчі культури (164,0 кг або +1,9%). За всіма іншими продуктами показників раціональних норм споживання досягнуто не було.

З точки зору авторів, показник недостатності (неповноцінності) харчування доцільно називати дефіцитом продовольчого споживання й обчислювати його як різницю між фактичним і раціональним рівнями продовольчого споживання як для всього набору продуктів харчування, так і для окремих його складових. Отже, найбільший дефіцит продовольчого споживання у 2020 р. спостерігається за низкою таких продуктів: молоко та молочні продукти (–46,9%), риба та рибні продукти (–38,0%), плоди, ягоди та виноград (–37,2%), м'ясо та м'ясні продукти (–35,2%) та цукор (–26,8 %).

Отже, незважаючи на те, що у 2020 р. порівняно з 2010 р., який вважається досить сприятливим, в Україні вдалося збільшити споживання таких харчових продуктів, як м'ясо та м'ясні продукти (+3,5%), а також плоди, ягоди та виноград (+17,7%), відставання від раціональних норм споживання залишається доволі великим. Це означає, що рівень споживання харчових продуктів населенням України характеризується неповноцінністю та значною відсутністю висококалорійних продуктів, необхідних для нормальної життєдіяльності щодо збереження власного здоров'я. Недоспоживання висококалорійних продуктів, таких як м'ясо та м'ясні продукти, молоко та молочні продукти, риба та рибні продукти, заміщувалось в основному продуктами низької калорійності, зокрема картоплею та овочами і баштаними продовольчими культурами.

Зазначені тенденції аналогічно віддзеркалюють показники калорійності та середньодобового споживання населенням основних мікро- та макроелементів у складі продуктів харчування, представлені в табл. 3.

Таблиця 3. Середньодобове споживання населенням основних мікро- та макроелементів у складі продуктів харчування, у розрахунку на одну особу

Види мікро- та макроелементів	Роки			2020 р. (+/-) порівняно з	
	2000 р.	2010 р.	2020 р.	2000 р.	2010 р.
Калорійність, ккал	2661	2933	2674	+ 13	– 259
Протеїн, г	78,6	87,5	83,9	+ 5,3	– 3,6
Жири, г	71,7	99,2	92,7	+ 21,0	– 6,5
Кальцій, мг	825	893	880	+ 55	– 13
Залізо, мг	19,4	20,5	19,7	+ 0,3	– 0,8
Ретинол, мкг	1004	1088	1055	+ 51	– 33
Еквівалент бета-каротину, мкг	1472	2035	2301	+ 829	+ 266
Еквівалент ретинолу і бета-каротину, мкг	1249	1427	1440	+ 191	+ 13
Тіамін, мг	1,81	1,88	1,80	– 0,01	– 0,08
Рибофлавін, мг	2,27	2,55	2,60	+ 0,33	+ 0,05
Ніацин, мг	16,8	18,8	18,4	+ 1,6	– 0,4
Аскорбінова кислота, мг	100	121	133	+ 33	+ 12

Примітка: розраховано авторами за Баланси та споживання основних продуктів харчування населенням України 2020 р., 2021.

Як засвідчують дані табл. 3, у 2010 р. Україна впритул наблизилась до показника калорійності в 3000 ккал. Так, фактичний показник калорійності за цей період склав 2933 ккал, проте у 2020 р. він знизився на 259 ккал і склав 2674 ккал. Аналізуючи показник калорійності та споживання населенням України мікро- та мікроелементів зазначимо, що у 2010 р. порівняно з 2000 р. спостерігалась позитивна динаміка їх підвищення у розрахунку на одну особу практично за всіма видами. Але у 2020 р. порівняно з 2010 р. ситуація змінилась і збільшення за зазначений період спостерігалось лише за такими позиціями, як еквівалент бета-каротину (+266 мкг), еквівалент ретинолу і бета-каротину (+13 мкг), рибофлавін (+0,05 мг) та аскорбінова кислота (+12 мг). Тобто ситуація значно погіршилась, що знайшло своє відображення в обсягах спожитих ккал у розрахунку на одну особу.

Оскільки для нормальної життєдіяльності населення, підтримання його здоров'я на рівні, який би забезпечував нормальну працездатність, збалансованості харчування стосовно споживання високо- та низькокалорійних харчових продуктів, Україна буде прагнути до досягнення раціональних норм споживання, автори вважають висловити певні застереження. Зважаючи на те, що для досягнення раціональних норм харчування за такими продуктами, як м'ясо, риба, молоко, плоди, ягоди та виноград необхідно значно збільшувати обсяги споживання (в середньому на 30—35%), в найближчій перспективі Україна може стикнутися з проблемою значного підвищення обсягів виробництва цієї продукції. Для цього в державі немає ані наявних реальних резервів (оскільки рівень самозабезпечення є досить незначним, крім зерна), ані можливостей подальшого нарощування виробництва власної продукції через обмеженість сировинної бази. Тому, з точки зору авторів, ситуацію щодо сучасного рівня самозабезпечення не можна вважати задовільною, оскільки в Україні спостерігається значний дефіцит споживання основних видів харчових продуктів, а подальше його зменшення в найближчій перспективі не вдасться забезпечити за рахунок власних можливостей.

Безумовно, зараз можна говорити про сучасні тенденції зниження чисельності населення через війну (військові втрати, міграція населення за кордон і ризик неповернення частини населення до України). Проте закінчення війни та післявоєнне відновлення держави, а також окреслений рух України до європейської спільноти змусить вирішувати ці завдання в найближчій перспективі.

У табл. 4 представлено ситуацію з калорійністю середньодобового раціону населення в окремих країнах.

Таблиця 4. Калорійність середньодобового раціону населення в окремих країнах, у розрахунку на одну особу, ккал

Країна	Роки			2018 р. (+/–) порівняно з	
	2000 р.	2010 р.	2018 р.	2000 р.	2010 р.
Австрія	3726	3724	3391	– 335	– 333
Білорусь	2993	3196	3270	+ 277	+74
Болгарія	2813	2762	2854	+ 41	+92
Велика Британія	3362	3404	3344	– 18	– 60
Греція	3602	3442	3382	– 220	– 60
Іспанія	3360	3183	3322	– 38	+139
Італія	3668	3583	3503	– 165	– 80

Продовження таблиці 4

Канада	3506	3447	3566	+ 60	+ 119
Китай	2814	3044	3203	+ 389	+ 159
Нідерланди	3265	3208	3297	+ 32	+ 89
Німеччина	3336	3504	3554	+ 218	+ 50
Польща	3419	3413	3537	+ 118	+ 124
Румунія	3141	3325	3581	+ 440	+ 256
США	3755	3650	3782	+ 27	+ 132
Угорщина	3172	3062	3316	+ 144	+ 254
Україна	2661	2933	2706	+ 45	– 227
Фінляндія	3151	3280	3343	+ 192	+ 63
Франція	3605	3536	3502	– 103	– 34
Чехія	3079	3276	3277	+ 198	+ 1
Японія	2899	2685	2705	– 194	+ 20

Примітка: розраховано авторами за Баланси та споживання основних продуктів харчування населенням України 2020 р., 2021.

Аналізуючи показники калорійності середньодобового раціону населення найрозвиненіших країн світу у 2000—2018 рр., представлені в табл. 4., можна стверджувати, що низці країн вдалося протягом зазначеного періоду поступово покращити ці показники з наростаючою динамікою. Зокрема, така ситуація характерна для Китаю (2814 до 3203 ккал), Німеччини (3336 до 3554 ккал), Румунії (3141 до 3581 ккал), Фінляндії (3151 до 3343 ккал), Чехії (3079 до 3277 ккал) та Білорусі (2993 до 3270 ккал).

У деяких країнах протягом зазначеного періоду спостерігається негативна динаміка щодо поступового зниження цього показника від рівня 2000 року. Зазначена ситуація притаманна таким країнам, як Греція (3602 до 3382 ккал), Італія (3668 до 3503 ккал) та Франція (3605 до 3502 ккал).

Проте більшості країн, незважаючи на негативні тенденції у 2010 р., порівняно з 2000 р., у 2018 р. вдалося досягти підвищення калорійності середньодобового раціону населення, демонструючи спроможність покращення ситуації. Це характерно для Австрії, Болгарії, Іспанії, Канади, Нідерландів, Польщі, США, Угорщини, Японії.

Для зовсім невеликої кількості країн, а саме для Великої Британії (3404 ккал) та України (2933 ккал), саме 2010 р. був найсприятливішим стосовно значення цього показника впродовж 2000—2018 років.

Дані табл. 4 також засвідчують тенденції чіткого розмежування країн за рівнем калорійності середньодобового раціону. З точки зору авторів, всі перелічені країни за цим критерієм рекомендується розподілити на 4 групи.

До першої групи слід віднести країни, які вже давно подолали бар'єр раціональної норми цього показника в обсязі 3388 ккал і впевнено утримують лідерські позиції впродовж багатьох років з показником калорійності, що перевищує 3500 ккал. До складу цієї групи входять такі країни, як Румунія (3581 ккал), Канада (3566 ккал), Німеччина (3554 ккал), Польща (3537 ккал), Франція (3502 ккал). Проте незаперечним лідером у цій групі залишається США, де цей показник у 2018 р. складає 3782 ккал, що на 394 ккал перевищує раціональну норму.

До другої групи авторами пропонується віднести країни, в яких калорійність середньодобового раціону дещо перевищує раціональну норму споживання або впритул наближається до неї. До цієї групи рекомендовано віднести Австрію (3391 ккал), Грецію (3382 ккал), Велику Британію (3344 ккал), Фінляндію (3343 ккал), Іспанію (3322 ккал) та Угорщину (3316 ккал).

До третьої групи рекомендовано віднести ті країни, яким поки що не вдалося подолати бар'єр 3300 ккал, але калорійність середньодобового раціону їх населення складає більше 3000 ккал, зокрема Нідерланди (3297 ккал), Чехія (3277 ккал), Білорусь (3270 ккал) та Китай (3203 ккал).

До четвертої групи аутсайдерів слід віднести країни, де цей показник лише наближається до значення в 3000 ккал. На жаль, саме до групи цих країн поряд з Болгарією (2854 ккал) та Японією (2705 ккал), входить і Україна (2706 ккал).

Останній третім оціночним критерієм рівня продовольчої безпеки держави авторами пропонується врахування рівня продовольчої доступності. В цілому рівень продовольчої доступності можна оцінювати відносно декількох точок зору, адже доступність харчових продуктів може розглядатися в аспекті фізичної, соціальної та економічної доступності.

Фізична доступність являє собою просту наявність на споживчому ринку життєво необхідних продуктів харчування. Соціальна доступність передбачає мінімальну диференціацію у споживанні основних груп продуктів серед різних верств населення (наявність мінімального вибору). Економічна доступність проявляється через фінансову можливість або спроможність населення отримати життєво необхідні продукти харчування.

Рівень соціально-економічного розвитку дозволяє забезпечити населенню України фізичну та соціальну доступність до основних видів харчових продуктів, проте економічна доступність й дотепер являє суттєву проблему.

Структура сукупних витрат домогосподарств в Україні протягом останніх років представлена в табл. 5.

Таблиця 5. Структура сукупних витрат домогосподарств в Україні у 2019–2021 рр., у середньому за місяць у розрахунку на одне домогосподарство

Витрати	Роки			Відхилення 2021 р. до 2020 р., %
	2019 р.	2020 р.	2021 р.	
Усього сукупних витрат, грн	9670,2	9523,6	11243,4	+18,1
Відсотків				
Споживчі сукупні витрати:	91,3	91,4	91,3	– 0,1
продовольчі товари (включаючи харчування поза домом, алкогольні напої і тютюнові вироби)	51,7	52,7	50,1	– 2,6
непродовольчі товари та послуги	39,6	38,7	41,2	+2,5
оплата житла, комунальних продуктів і послуг, з них:	13,0	12,9	13,8	+0,9
сума пільг і субсидій	0,9	0,1	0,1	–
Неспоживчі сукупні витрати	8,7	8,6	8,7	+ 0,1

Примітка: складено авторами за Україна в цифрах 2021, 2022.

Як засвідчують дані табл. 5, незважаючи на те, що у 2021 рр. порівняно з попереднім роком обсяги сукупних витрат у середньому за місяць у розрахунку на одне домогосподарство підвищились на 18,1%, споживчі сукупні витрати за цей період зменшились лише на 0,1 відсоткових пунктів, а витрати на продовольчі товари зменшились на 2,6 відсоткових пунктів. У цілому частка витрат на продовольчі товари за період 2019—2021 рр. (за даними табл. 5) є досить стабільною і складає від 50,1% до 52,7% загальної суми сукупних витрат. Це означає, що більше половини сукупних витрат припадає на продукти харчування, в той час як у розвинених країнах світу ця частка складає не більше 25%. На жаль, натеper Україна відноситься до категорії відносно бідних країн (третя група) за світовим рейтингом стосовно рівня доходів, оскільки її населення витрачає на харчові продукти більше 50% бюджету домогосподарств, якому не вистачає коштів для відпочинку, подорожей, оплати окремих видів послуг (навчання, підвищення духовного рівня тощо).

Крім того, низька купівельна спроможність населення не дає змогу значній його частині витрачати необхідну кількість коштів на продукти харчування, аби забезпечити здорове та активне життя. Тому й раціональні норми споживання у 2020 р. було досягнуто саме за найдешевшими продуктами (картопля та овочі), а висококалорійні продукти харчування високої цінової категорії (м'ясо, молоко, риба) для значної частки українців так і залишилися недоступними. Отже, в сучасних умовах українці поряд з невисоким рівнем доходів вимушені економити на власних витратах, в тому числі й на придбанні продуктів харчування. В найближчій перспективі вирішення цього питання буде пов'язане з підвищенням пенсій і реальної заробітної плати. Проте реалії сучасного життя, пов'язані з війною в Україні, свідчать про те, що найближчим часом вирішити зазначену проблему кардинально не вдасться.

Висновки

Зважаючи на все вищезазначене, оцінка рівня продовольчої безпеки повинна здійснюватись за трьома основними оціночними критеріями, за сукупністю стану яких можна визначити її рівень. Натепер за рівнем достатності та доступності продовольчого споживання Україна суттєво відстає від розвинених країн світу, а раціональні норми споживання у 2020 р. були досягнуті лише за такими низькокалорійними продуктами, як картопля, овочі та баштанні продовольчі культури. Рівень самозабезпечення, хоча й свідчить про задовільну ситуацію, проте за умов підвищення споживання основних продуктів харчування Україна може виявитися не готовою до збільшення їх виробництва в розмірах, необхідних для задоволення зростаючих потреб населення.

Література

- Баланси та споживання основних продуктів харчування населенням України 2020 р. (2021). Статистичний збірник. К.: Держстат України.
- Баланси та споживання основних продуктів харчування населенням України 2019 р. (2020). Статистичний збірник. К.: Держстат України.
- Баланси та споживання основних продуктів харчування населенням України 2018 р. (2019). Статистичний збірник. К.: Держстат України.

Вараксіна, О. (2020). Продовольча безпека як важливий індикатор конкурентоспроможності національної економіки. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. Серія: Економічні науки, 5(2), 77—85. Взято з: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/mnjie_2020_5\(2\)_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/mnjie_2020_5(2)_12). DOI: 10.25313/2520-2294-2020-5-6032.

Гринишин, В. (2021). *Формування системи продовольчої безпеки України*. (Дисерт. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук). Поліський національний університет. Житомир.

Зеліско, Н. (2019). Продовольча безпека як економічний пріоритет аграрної політики України. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. Серія: Економіка АПК, 26, 77—80. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vlnau_econ_2019_26_16.

Кіреєва, Е. (2014). Регіональна продовольча безпека: суть та інструменти управління. *Ефективна економіка*, 4. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2014_4_31.

Княженко, І., Трошкін, С., Нехамкін, М. (2021). Продовольча безпека агробізнесу в контексті викликів пандемії (COVID 19). *Вісник Бердянського університету менеджменту і бізнесу*, 1, 30—36. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vbumb_2021_1_6. DOI: 10.33783/1977-4167-2021-49-1-30-36.

Кундєєва, Г., Скопенко, Н. (2022). Стійкість розвитку: продовольча безпека та безпека харчування як результат стійкості продовольчої системи. *Наукові праці національного університету харчових технологій*, 28 (2), 36—53. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2022_28_2_5. DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-2-5.

Павловська, І. (2022). Розвиток підходів до трактування поняття «продовольча безпека». *Проблеми економіки*, 3, 52—62.

Палапа, Н., Дем'янюк, О., Нагорнюк, О. (2022). Продовольча безпека України: стан та актуальні питання сьогодення. *Агроекологічний журнал*, 2, 34—45. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2022_2_5. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2022.263314>.

Стариченко, Є. (2019). *Прогнозування рівня продовольчої безпеки України*. (Дисерт. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук). К.: НУБІП, Білоцерківський національний аграрний університет.

Страшинська, Л. (2008). *Стратегія розвитку продовольчого ринку в Україні*. К.: Профі.

Страшинська, Л. (2019). *Державна політика в сфері забезпечення продовольчої безпеки: соціальний аспект*. Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. «Стратегії та модули соціального буття сучасної людини: захист та допомога». 17 травня 2019 р.: Тези доповідей. К.: Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка, 110—115.

Україна у цифрах 2021 (2022). Статистичний збірник. Держстат України.

Франчук, В., Мельник, С., Гобела, В., Курляк, М. (2022). Продовольча безпека: трансформація засад забезпечення. *Ефективна економіка*, 10. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2022_10_3. DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2022.10.1>.

Шевченко, О. (2022). Екологічна та продовольча безпека як складова забезпечення економічної безпеки України у стратегічному форматі. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Серія: Право, 68, 110—117. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvuzhpr_2022_68_20. DOI: <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2021.68.18>.

Strashynska, L. (2018). Food security of Ukraine: problems and areas of providing. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 24 (1), 48—57. DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-1-7.

УДК 621.311.153

ENSURING ENERGY-EFFICIENT WORK MODES IN ELECTRICAL SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL AND CIVIL FACILITIES BY VOLTAGE REGULATION

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

Key words:

*Power supply systems
Rational voltage levels
Shop electrical network
Static characteristics of
load according to voltage
Shop power supply system
Optimization of electricity
consumption
Transformer voltage
regulation
Optimization of work
modes*

Article history:

Received 03.03.2023
Received in revised form
17.03.2023
Accepted 33.04.2023

Corresponding author:

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

ABSTRACT

The development of voltage regulation methods in the energy supply system of industrial and civil facilities using continuous and discrete sources of reactive power, tap-changer of GPP transformers and PBZ of shop transformers is an urgent task. It allows maintaining energy-efficient modes of power-consuming equipment, elements of power supply and power consumption systems and reduce financial expenses for payment for electric energy.

The article presents approaches to solving the task of determining energy-efficient voltage levels at different hierarchical levels of the power supply system and ensuring them by using voltage regulators (TAPs) of GPP transformers, PBZ switches of workshop transformers, as well as power regulation of reactive power sources. For the calculation of energy-efficient voltages, an appropriate algorithm has been developed, which provides the separate execution of operations for calculating the parameters of the current mode of the power supply system and its optimization. This allows to monitor the state of the power supply system and ensure the maximum efficiency of the use of voltage regulation devices. A method of determining the static load characteristics of asynchronous motors by voltage is proposed, taking into account their design features, mechanical load characteristics and magnetizing currents. A method of determining the static characteristics of the load by voltage at the levels of the shop transformer, RP and GPP has been developed. With the use of the MATLAB/SIMULINK package, calculation studies of static characteristics by voltage at different levels of the hierarchical power supply system were carried out. The selection of the method for calculating the modes of shop and distribution electric networks of an industrial enterprise was reasoned. The static characteristics of the load according to the voltage, the action of the voltage regulators of the GPP transformers, the position of the PBZ of the shop transformers, the power of the reactive power sources were taken into account. Algorithm for controlling discrete and continuous sources of reactive power and voltage regulators of GPP transformers was proposed taking into account static load characteristics to ensure energy-efficient operation modes of shop and distribution electrical networks of an industrial enterprise.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-2-7

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ І ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ ШЛЯХОМ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ

**С. М. Балюта, Л. О. Копилова, Ю. В. Куєвда, В. Д. Йовбак,
М. С. Кондрашевський, П. М. Кандибка, В. П. Куєвда**

Національний університет харчових технологій

Розробка методів регулювання напруги в системах енергозабезпечення (СЕЗ) промислових і цивільних об'єктів з використанням джерел РП, РПН трансформаторів ГПП та ПБЗ трансформаторів є актуальним завданням, оскільки дає змогу підтримувати енергоефективні режими електроспоживача обладнання, елементів СЕЗ, забезпечити нормові значення показників якості електричної енергії (ЕЕ) та зменшити фінансові видатки на її оплату.

У статті представлено підходи до вирішення завдання визначення енергоефективних рівнів напруги на ієрархічних рівнях СЕЗ. Питання техніко-економічної ефективності вирішуються шляхом формулювання цільової функції оптимізації рівня напруги за критерієм мінімуму втрат активної потужності. Для розрахунку енергоефективних значень напруги розроблено алгоритм, який передбачає роздільне виконання операцій розрахунку параметрів поточного режиму СЕ та його оптимізації. Це дає змогу здійснювати моніторинг стану СЕЗ і забезпечувати максимальну ефективність використання пристроїв регулювання напруги.

Запропоновано метод визначення статичних характеристик навантаження (СХН) за напругою АД з урахуванням їх конструктивних особливостей, характеристик механічного навантаження і струмів намагнічування. Розроблено метод визначення СХН на рівнях цехового трансформатора та ГПП. З використанням пакета MATLAB/SIMULINK проведено розрахункові дослідження СХН на різних рівнях ієрархії СЕЗ. Обґрунтовано вибір методу розрахунку режимів СЕЗ з урахуванням СХН, дії регуляторів напруги трансформаторів ГПП (РПН ГПП), положення ПБЗ цехових трансформаторів, потужності джерел РП. Запропоновано алгоритм керування джерелами РП та РПН ГПП з урахуванням статичних характеристик навантаження для забезпечення енергоефективних режимів роботи цехових і розподільних електричних мереж СЕЗ.

Ключові слова: *системи електрозабезпечення, раціональні рівні напруги, цехова електрична мережа, статичні характеристики навантаження за напругою, система електропостачання цеху, оптимізація електроспоживання, регулювання напруги трансформатора, оптимізація режимів роботи.*

Постановка проблеми. Розвиток сучасних технологій електрозабезпечення промислових і цивільних об'єктів з використанням сучасних методів керування дає змогу забезпечити енергозберігаючі режими передавання та споживання електричної енергії на промислових і цивільних об'єктах. Реалізація енергозберігаючих режимів електрозабезпечення та електроспоживання потребує формування цільової функції оптимізації режиму, розробки методів визначення статичних

характеристик споживачів електричної енергії за напругою, вибору методів розрахунку режимів системи електропостачання та електрозабезпечення, розробки алгоритмів керування РПН трансформаторів і джерелами РП. Водночас більша частина існуючих підходів до оптимізації режимів систем електрозабезпечення не враховує СХН, вплив РПН та ПБЗ, регулювання дискретних і безперервних джерел РП. Актуальним завданням є удосконалення методів керування системами електрозабезпечення промислових і цивільних об'єктів з урахуванням статичних характеристик навантаження за напругою, регулювання РПН та реактивної потужності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенню проблем, пов'язаних з регулюванням напруги в системоутворюючій мережі, присвячені праці А. К. Шидловського, Ю. І. Тугая, П. Д. Лежнюка, П. О. Черненко, Г. Г. Півняк, А. В. Праховника та інших. Проте проблема регулювання напруги в системах електрозабезпечення промислових і комунальних об'єктів (СЕПКОКО) виникла відносно недавно. Пов'язано це з тим, що розподільні мережі 6...10 кВ (у тому числі СЕПКОКО) технічно оснащені гірше, ніж системоутворюючі мережі.

У (Baliuta, Korylova, & Mashchenko, 2018) запропоновано загальну структуру інтелектуальної системи керування електрозабезпеченням та електроспоживанням промислових об'єктів.

Питання оптимізації рівня напруги за критерієм забезпечення нормативного рівня напруги у максимально можливого числа споживачів висвітлені у (Плешков, Сіріков, & Безкровна, 2011), де запропоновано систему активно-адаптивного регулювання напруги. Однак така схема регулювання може бути застосована тільки в класичних розподільчих мережах, коли напрям перетікань потужності є однозначним, і не використовуються засоби компенсації реактивної потужності (РП).

У праці (Яндульський, Труніна, & Нестерко, 2021) запропоновано метод оптимального розподілу активної та РП між генераторами власних станцій промислових підприємств, також розроблено метод оптимального регулювання напруги шляхом зміни положення РПН силових трансформаторів, однак не враховуються статичні характеристики навантаження за напругою (СХН).

У науковому дослідженні (Добровольська, Кулик, & Лежнюк, 2018) запропоновано вирішення питання регулювання напруги в електроенергетичних системах на основі нечіткої логіки, а також обґрунтовано доцільність застосування методів нечітких обчислень у завданнях регулювання напруги електроенергетичних систем. Однак завдання регулювання напруги вирішується лише за критерієм забезпечення нормативного рівня напруги.

У (Левицький, & Колмачов, 2015) розроблено алгоритм та структуру комплексу технічних засобів управління коефіцієнтом трансформації силового трансформатора з використанням РПН при груповому управлінні напругою в центрі живлення (ЦП) з урахуванням параметрів ЕП та розподільчих ліній, що дає змогу здійснити мінімізацію втрат активної та РП у реальному часі. Проте запропонований алгоритм забезпечує регулювання лише коефіцієнта трансформації трансформаторів ГПП. Інші пристрої регулювання напруги не використовуються.

У праці (Baliuta, Kopylova, Kuievda, & Kovalchuk, 2020) розглядаються питання застосування нечіткої логіки до роботи блоків автоматичного регулювання РПН (БАР РПН). З використанням фази логічної системи управління здійснюється групове управління режимом напруги відповідно до раціонального рівня напруги шляхом зміни коефіцієнта трансформації силового трансформатора.

У вищезгаданих дослідженнях не враховується наявність дискретних і недискретних джерел РП (наприклад, синхронних машин (СМ)).

У науковому дослідженні (Canard, 2000) показано, що в разі малої генерації регулювання напруги з використанням пристроїв АРНТ за принципами «стабілізація напруги» і «зустрічне регулювання» не може застосовуватися і вимагає суттєвого доопрацювання.

У праці (Rami, 2006) запропоновано використовувати малу генерацію для нормалізації рівня напруги в мережі. Для цього пропонується поєднання двох алгоритмів: детермінованого та евристичного (генетичні алгоритми). Однак використання цих алгоритмів у реальному часі ускладнене у зв'язку з їхньою низькою збіжністю.

У (Richardot, 2006) запропоновано оснастити об'єкти малої генерації активно-адаптивним регулятором, принцип якого передбачає перемикання з режиму регулювання P/Q у нормальному режимі до регулювання P/U у режимі, близькому до граничного. Однак запропонований метод не ставить за мету виконання оптимізації режиму роботи мережі за критерієм мінімуму втрат (споживання) електроенергії в СЕПКО, що суттєво знижує його ефективність.

У праці (Richardot, 2006) запропоновано схему координованого регулювання напруги з використанням децентралізованої генерації (D-RCT).

Розглянуті в зарубіжних дослідженнях системи регулювання відповідають концепції VVC (Volt VAr Control — Контроль напруги і реактивної потужності), що передбачає використання існуючих у мережі засобів регулювання напруги та РП для зниження втрат електроенергії та забезпечення нормативного рівня напруги. Натепер ця концепція є найбільш ефективною для реалізації оптимального регулювання напруги у СЕПКО (Rahimi, Marinelli, & Silvestro, 2012).

Аналіз літературних джерел показав, що в розглянутих працях не запропоновано систему регулювання, яка б враховувала наявність недискретних джерел РП (синхронних машин), батарей статичних конденсаторів (БСК), трансформаторів з РПН та використовувала б їх одночасно для регулювання напруги з метою зниження втрат (споживання) активної енергії.

Мета дослідження: розробка методів регулювання напруги та РП у системах електрозабезпечення промислових і комунальних об'єктів з метою оптимізації режимів їх роботи за критерієм мінімізації фінансових видатків користувачів на електричну енергію.

Матеріали і методи. Проведений аналіз нормативно-технічної літератури та принципів схем електропостачання промислових підприємств дав змогу скласти структурну схему розміщення пристроїв регулювання напруги в СЕПКО (рис. 1).

Залежність рівня споживання активної та РП споживачем від напруги визначається СХН і регулюючим ефектом навантаження за напругою. Аналіз впливу

відхилення напруги на режим споживання окремих ЕП ПП представлений у (Попов, Ткаченко, & Ярмолук, 2021).

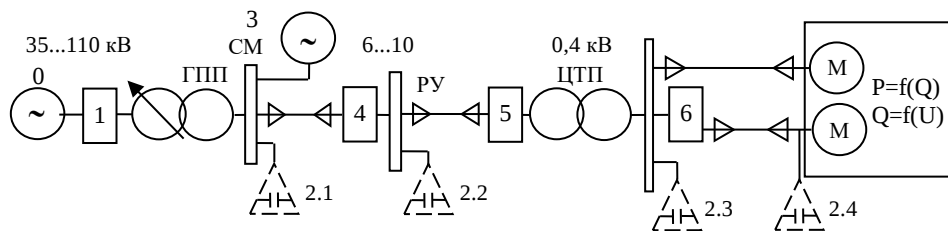


Рис. 1. Структурна схема розміщення пристроїв регулювання напруги в СЕПКО промислових і цивільних об'єктів: 1 — РПН з пристроями автоматичного регулювання напруги трансформаторів (АРНТ); 2 — пристрої компенсації РП: централізованої (2.1), групової (2.2—2.3) та індивідуальної компенсації РП (2.4); 3 — синхронні машини; 4 — вольтодобудаткові трансформатори (ВДТ); 5 — пристрої ПБЗ; 6 — установки поздовжньої компенсації (УПК) та тиристорні регулятори напруги (ТРН)

Аналіз науково-технічної літератури (Сегеда, 2015; Попов, Ткаченко, & Ярмолук, 2021) показує, що при розробці заходів щодо підвищення енергоефективності зміни опорів на пасивних елементах СЕПКО практично не враховуються.

Узагальнена статична характеристика навантаження вузла за напругою залежить від СХН окремих ЕП та пайової участі навантаження кожної групи ЕП.

У праці (Балюта, Копилова, & Корольов, 2016) для системи електрозабезпечення промислового об'єкта було отримано СХН цехових підстанцій при різних коефіцієнтах завантаження обладнання. Проведений аналіз отриманих СХН показує, що оптимальний рівень напруги на шинах підстанції живлення може відповідати будь-якому значенню в діапазоні $0,85...1,1U_{ном}$. Визначальними факторами є склад навантаження, завантаження ЕП і довжина ліній СЕПКО. Однак для підприємства в цілому подібні узагальнені СХН ще не отримані.

Для виконання завдань регулювання напруги потрібна розробка системи оптимального регулювання напруги, що виконує завдання забезпечення нормативного рівня напруги та мінімізації втрат електроенергії з урахуванням наявності СМ і батарей статичних конденсаторів (БСК).

З огляду на те, що експериментальні методи (пасивні та активні) визначення СХН активного та реактивного навантаження АД мають певні обмеження (не дають змоги отримати достатню кількість даних, загрожують пошкодженням обладнання та порушенням технологічного процесу) (надалі для визначення СХН АД використовуємо розрахунковий спосіб (Балюта, Йовбак, & Копилова, 2017). При вирішенні задачі мінімізації рівня споживання активної потужності доцільно розглядати СХН АД в діапазоні напруги $(0,9...1,1)U_{ном}$, оскільки він відповідає гранично допустимим відхиленням напруги, встановленим ГОСТ 13109-97.

Оскільки характер зміни СХН в цьому діапазоні практично лінійний (Балюта, Йовбак, & Копилова, 2017), то для їх апроксимації достатньо використовувати поліном 1-го ступеня:

$$P(U) = P_H P^*(U) = P_H \left[a_0 + a_1 \left(\frac{U}{U_{ном}} \right) \right]; \quad (1)$$

$$Q(U) = Q_H Q^*(U) = Q_H \left[b_0 + b_1 \left(\frac{U}{U_{ном}} \right) \right], \quad (2)$$

де P_H і Q_H — активна та реактивна потужності АД при номінальній напрузі; $P^*(U)$ та $Q^*(U)$ — СХН активного та реактивного навантаження за напругою у в. о. АД; $U_{ном}$ — номінальна напруга АД; a_0, a_1, b_0, b_1 — коефіцієнти полінома 1-го ступеня.

Регулюючі ефекти активного (α_1) та реактивного (β_1) навантаження АД за напругою визначаються за формулами:

$$\alpha_1 = dP/dU; \quad (3)$$

$$\beta_1 = dQ/dU, \quad (4)$$

де dP, dQ — зміна активного та реактивного навантаження, dU — зміна рівня напруги в мережі.

Викладення основних результатів дослідження. Алгоритм визначення статичних характеристик навантаження асинхронних двигунів за напругою. Найбільш повні характеристики АД можна отримати лише з використанням Т-подібної схеми заміщення АМ з використанням формул розрахунку параметрів Т-подібної схеми заміщення, представлених у (Толочко, 2016) за каталожними даними.

Запропонований алгоритм включає такі етапи:

1. Введення вихідних даних. Вихідними даними для розрахунку параметрів машини є: f — частота мережі, Гц; P_H — номінальна потужність, Вт; U_H — номінальна лінійна напруга, В; n_H — номінальна кутова частота обертання валу, про/хв; p — число пар полюсів; $\eta_{ном}$ — коефіцієнт корисної дії, в. о.; $\cos\varphi_H$ — коефіцієнт потужності, в. о.; I_H — номінальний струм статора, А; k_t — кратність пускового струму, в. о.; m_{max} — кратність максимального моменту, в. о.; m_n — кратність пускового моменту, в. о.; J — момент інерції, кг м².

За наявності вихідних даних у рамках програми можливе врахування насичення сталі АД. Параметри кривої намагнічування АД вводяться у блоці параметрів АД «[i; v] (pu)» середовища MATLAB Simulink. Криві намагнічування $U = f(I_p)$ задаються з використанням вольтамперної характеристики двигуна чи довідкових даних.

Вихідні дані для розрахунку параметрів механічної підсистеми (моменту опору механізму навантаження): M_{mp} — початковий момент тертя ($s = 1$), Н·м, k_s — коефіцієнт завантаження двигуна, в. о.; α — показник ступеня, що характеризує механізм, в. о.

2. Розрахунок параметрів схеми заміщення АД виконується з використанням формул, поданих у (Андрієнко, & Куєвда, 2010).

3. Завдання механічної характеристики моменту навантаження. Механічна характеристика моменту опору навантаження задається з використанням формули:

$$M_c = k_z M_{ном} \left[M_{тр} + (1 - M_{тр}) \left(\frac{1-s}{1-s_{ном}} \right)^\alpha \right]. \quad (5)$$

Показник ступеня α , що враховує зміну M_c при зміні швидкості обертання двигуна, визначається типом механізму.

4. Створення моделі АД в середовищі MATLAB Simulink.

5. Визначення значень активної та РП, що споживаються АД при різних рівнях напруги.

Для кожного досліджуваного АД виконується розрахунок електричного режиму до настання встановленого режиму. Розрахунок виконується для діапазону напруги $0,9 \dots 1,1 U_{ном}$. Отримані дані про зміну споживання активної та реактивної потужності зберігаються у робочому середовищі MATLAB. Для кожного модельованого АД також формуються матриці $[U_i, P_i, Q_i]$.

6. Апроксимація отриманих матриць $[U_i, P_i, Q_i]$ поліномом першої ступеня. Для апроксимації отриманих статичних характеристик за напругою використовується вбудована функція `polyfit` MATLAB. У результаті для кожного АД формується поліном 1-го ступеня.

7. Оцінка кореляційного зв'язку. Для оцінки достовірності отриманих поліномів визначається коефіцієнт детермінації (Коваль, 2018).

8. Отримання остаточних значень коефіцієнта полінома 1-го ступеня.

Задання кривих намагнічування асинхронних двигунів. У зв'язку з відсутністю даних про конструктивні параметри більшості АД доцільно прийняти до розгляду універсальну криву намагнічування (Толочко, 2016) та використати струм холостого ходу двигуна при номінальній напрузі 1.0:

$$I_0 = I_n \left[\sin \varphi_{ном} - \frac{\eta_{ном} \cos \varphi_{ном}}{2 m_{тах}} \right]. \quad (6)$$

На основі запропонованого алгоритму було розроблено програму в середовищі MATLAB, що дає змогу виконувати розрахунок параметрів статичних характеристик навантаження АД за напругою. З використанням програми визначені СХН для АД серії ВАО2 ($U_{ном} = 11400$ В), які використовуються на насосних станціях при різних коефіцієнтах завантаження (k_z).

Отримані СХН для двигунів серії ВАО2 були апроксимовані поліномами 1-го ступеня. Коефіцієнти поліномів наведені у табл. 1.

Проведений аналіз отриманих СХН і регулюючих ефектів навантаження (РЕН) шахтних АД за напругою показав, що зміна напруги на 1% від номінального практично не призводить до зміни споживання активної потужності шахтними електродвигунами, отже, вона може прийматися постійною. При цьому регулюючий ефект реактивного навантаження шахтних АД за напругою знаходиться в межах $0,95 \dots 2,60\%$, а його значення є обернено пропорційними коефіцієнту завантаження, номінальній потужності та кількості пар полюсів двигуна.

Алгоритм визначення еквівалентних СХН у вузлах СЕПКО. При визначенні еквівалентних СХН СЕПКО необхідно враховувати ієрархічну побудову СЕПКО у вигляді ряду підсистем та їх подальшим поданням у вигляді еквівалентних СХН.

Таблиця 1. Значення коефіцієнтів полінома 1-го ступеня для двигунів насосної станції серії ВАО2, $U_{ном} = 11400$ В

Марка АД	P_n , кВт	k_3	Коефіцієнти полінома 1-го ступеня			
			за активною потужністю		за реактивною	
			ai	do	bi	bo
BAO2-280S4	132	1,0	-0,023	1,023	1,390	-0,366
		0,8	-0,009	0,809	1,784	-0,859
		0,6	0,003	0,597	2,042	-1,212
		0,4	0,005	0,395	2,221	-1,456
		0,2	0,007	0,193	2,330	-1,601
BAO2-280M4	160	1,0	-0,022	1,023	1,376	-0,353
		0,8	-0,011	0,811	1,767	-0,846
		0,6	0,000	0,600	2,022	-1,198
		0,4	0,006	0,394	2,199	-1,440
		0,2	0,009	0,191	2,310	-1,586
BAO2-15M4	250	1,0	-0,018	1,018	1,277	-0,254
		0,8	-0,011	0,811	1,650	-0,766
		0,6	-0,004	0,603	1,950	-1,135
		0,4	0,003	0,397	2,132	-1,388
		0,2	0,008	0,192	2,243	-1,538
BAO2-315L4	315	1,0	-0,015	1,015	1,167	-0,144
		0,8	-0,011	0,811	1,614	-0,687
		0,6	-0,001	0,601	1,877	-1,074
		0,4	0,004	0,396	2,065	-1,336
		0,2	0,005	0,195	2,180	-1,493

Як підсистему в СЕПКО розглядаємо ділянку СЕПКО, що включає ЦТП, радіальну низьковольтну розподільну мережу і споживачів (приймачі) електричної енергії, приєднані до цієї мережі (Попов, Ткаченко, & Ярмолюк, 2021). Для формування еквівалентних СХН використовуємо схеми заміщення підсистем мережі відповідного рівня (Балюта, Йовбак, Копилова, & Литвин, 2017).

Потужності (активна і реактивна), що споживаються від джерела живлення, на рівні ЦТП визначаються за формулами:

$$P_{ЦТП} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m p_{EP\ j\ i}(U_{EP\ j\ i}^*) + \sum_{j=1}^n \Delta P_{lj}(U_{ЦТП}^*) + \Delta P_{ЦТП}(U_{жив*}, k_3); \quad (7)$$

$$Q_{ЦТП} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m q_{EP\ j\ i}(U_{EP\ j\ i}^*) + \sum_{j=1}^n \Delta Q_{lj}(U_{ЦТП}^*) + \Delta Q_{ЦТП}(U_{жив*}, k_3), \quad (8)$$

де p_{EP} , q_{EP} — АП і РП, споживана i -м ЕП, підключеним до j -ої лінії, ΔP_{lj} , ΔQ_{lj} — втрати АП та РП в j -й лінії; $\Delta P_{ЦТП}$, $\Delta Q_{ЦТП}$ — втрати АП та РП в ЦТП; k_3 — коефіцієнт завантаження трансформатора ЦТП; n — кількість низьковольтних ліній, що відходять від ЦТП; m — кількість ЕП, підключених до однієї

лінії; $U_{жив*}$ — напруга джерела живлення; $U_{ЦТП*}$ — напруга на шинах ЦТП; $U_{ЕП j j*}$ — напруга на клеммах i -го ЕП, підключеного до k -ої лінії.

При використанні поліномів 1-го ступеня апроксимації СХН (1)...(2) величина АП та РП, що споживається від ЦТП, визначається за формулами:

$$P_{ЦТП} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m p_{mex.enj i} (a_0 + a_1 U_{ЕП j j*}) + \sum_{j=1}^n \frac{DR_{lj}}{U_{ном}^2 U_{ЦТП}^2} + \frac{ER_{ЦТП}}{U_{ном}^2 U_{жив}^2} + \Delta P_{XX} (U_{жив*})^2; \quad (9)$$

$$D = \sum_{i=1}^m [p_{mex.enj i} (a_0 + a_1 U_{ЕП j j*})]^2 + \sum_{i=1}^m [q_{mex.enj i} (b_0 + b_1 U_{ЕП j j*})]^2;$$

$$E = \sum_{j=1}^n [P_{mex.enj i} (A_0 + A_1 U_{ЦТП*})]^2 + \sum_{j=1}^n [Q_{mex.enj i} (B_0 + B_1 U_{ЕП j j*})]^2;$$

$$Q_{ЦТП} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m q_{mex.enj i} (b_0 + b_1 U_{ЕП j j*}) + \sum_{j=1}^n \frac{FX_{lj}}{U_{ном}^2 U_{ЦТП}^2} + \frac{GX_{ЦТП}}{U_{ном}^2 U_{жив}^2} + \Delta Q_{XX} (U_{жив*})^2; \quad (10)$$

$$F = \sum_{i=1}^m [p_{mex.enj i} (a_0 + a_1 U_{ЕП j j*})]^2 + \sum_{i=1}^m [q_{mex.enj i} (b_0 + b_1 U_{ЕП j j*})]^2;$$

$$G = \sum_{j=1}^n [P_{mex.enj i} (A_0 + A_1 U_{ЦТП*})]^2 + \sum_{j=1}^n [Q_{mex.enj i} (B_0 + B_1 U_{ЕП j j*})]^2;$$

де $p_{mex.eni}$, $q_{mex.eni}$ — АП та РП споживана i -м ЕП, що визначається технологічним процесом та відповідає номінальному рівню напруги; $a_{j,i}$, $a_{1j,i}$, $b_{0j,i}$, $b_{1j,i}$ — коефіцієнти СХН i -го ЕП; $P_{mex.enj}$, $Q_{mex.enj}$ — сумарна АП та РП ЕП, підключених до j -ї КЛ при U_n ; A_{0j} , A_{1j} , B_{0j} , B_{1j} — коефіцієнти еквівалентних СХН споживачів ЕЕ, підключених до ЦТП; R_{lj} , X_{lj} — активний та індуктивний опір j -ої лінії; $R_{ЦТП}$, $X_{ЦТП}$ — активний та індуктивний опір ЦТП; ΔP_{XX} , ΔQ_{XX} — активні та реактивні втрати холостого ходу в ЦТП.

Для визначення еквівалентних СХН підсистем з використанням рівнянь (9)—(10) визначають рівень напруги у вузлах електричної мережі з використанням різних методів: за даними початку лінії, за даними кінця лінії, методом Зейделя, методом Ньютона та готового програмного забезпечення (Сегеда, 2015), в якому є можливість урахування СХН.

Моделювання режиму електричної мережі проводиться в такому порядку: спочатку виконується моделювання схеми мережі, підключеної до цехової трансформаторної підстанції (ЦТП): визначаються параметри елементів схеми заміщення, СХН, розраховується електричний режим при послідовній зміні рівня напруги на стороні ВН ЦТП в діапазоні $0,85 \div 1,2 U_{ном}$. Діапазон варіюється залежно від фактичного номера ступеня регулювання пристрою ПБЗ трансформатора ЦТП. Отримані СХН активної потужності (АП) та реактивної потужності (РП) апроксимуються поліномом 2-го ступеня і можуть бути використані як еквівалент навантаження ЦТП та прилеглої низьковольтної мережі.

Вплив навантаження трансформаторів ЦТП на рівень втрат активної та РП. Для оцінки впливу ЦТП на рівень споживання АП та РП необхідно проаналізувати характер зміни втрат АП та РП з урахуванням наявності на ЦТП пристроїв перемикачання без збудження (ПБЗ), використовуючи формули (Сегеда, 2015):

$$\Delta P_{\text{ЦТП}}(U) = \frac{(k_3 S_{\text{ном}})^2}{U^2} \cdot \frac{\Delta P_K (U_{\text{ном}} (1 + n \Delta U_{\text{СТ}^*}))^2}{S_{\text{ном}}^2 10^3} + \Delta P_{\text{XX}} \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^2; \quad (11)$$

$$\Delta Q_{\text{ЦТП}}(U) = \frac{(k_3 S_{\text{ном}})^2}{U^2} \cdot \frac{(U_{\text{ном}} (1 + n \Delta U_{\text{СТ}^*}))^2}{S_{\text{ном}}^2} \sqrt{\frac{u_{k\% \text{в} \text{і} \text{д} \text{з}}^2}{10000} - \frac{\Delta P_K^2}{S_{\text{ном}}^2}} + \Delta Q_{\text{XX}} \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^2; \quad (12)$$

де ΔP_{XX} ΔQ_{XX} — активні та реактивні втрати XX, кВАр; k_3 — коефіцієнт завантаження силового трансформатора.

За виразами (11) та (12) для трансформатора КТПВ-1000/6 розраховано СХН втрат АП та РП. Аналіз отриманих характеристик дає змогу зробити висновок, що при $k_3 = 0,6 \dots 0,7$ втрати потужності в трансформаторах практично не залежать від рівня напруги, а при цьому ККД трансформатора має максимальне значення (Попов, Ткаченко, & Ярмолюк, 2021). Отже, величина втрат АП у трансформаторах є неоднозначною і залежить від k_3 та співвідношення ΔP_K і ΔP_{XO} .

Визначення узагальнених статичних характеристик СЕЛКО. На ГПП промислових об'єктів і на районних підстанціях встановлюються трансформатори з вищою напругою 35 та 110 кВ із номінальною потужністю від 1600 до 40000 кВА. Усі трансформатори оснащені пристроями РПН.

Лінійна напруга відгалуження обмотки трансформатора ГПП з урахуванням положення перемикача РПН може бути визначена за формулою:

$$U_{\text{відз}} = U_{\text{ном}} (1 + n \Delta U_{\text{СТ}^*}); \quad (13)$$

де n — номер анцапфи РПН, що змінюється в межах визначених типом пристрою РПН; $\Delta U_{\text{СТ}^*}$ — крок регулювання РПН, %;

Рівень втрат АП та РП у трансформаторі з урахуванням регулювання напруги з використанням РПН можна оцінити за формулами:

$$\Delta P_T(n) = \frac{k_3^2 \Delta P_K (U_{\text{ном}} (1 + |n| \Delta U_{\text{СТ}^*}))^2}{U^2} + \Delta P_{\text{XX}} \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^2; \quad (14)$$

$$\Delta Q_T(n) = \frac{10 k_3^2 S_{\text{ном}} U_{\text{ном}}^2}{U^2} \sqrt{u_{k\% \text{в} \text{і} \text{д} \text{з}}^2 (1 + n \Delta U_{\text{СТ}^*}) - \frac{\Delta P_K^2 (1 + n \Delta U_{\text{СТ}^*})^4}{100 S_{\text{ном}}^2}} + \Delta Q_{\text{XX}} \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^2; \quad (15)$$

З формул (14), (15) випливає, що рівень втрат АП та РП у трансформаторі залежить від коефіцієнта завантаження трансформатора k_3 , номера анцапфи РПН n та рівня напруги в мережі живлення U .

За формулами (14) та (15) розраховані характеристики втрат потужності в трансформаторах ГПП при різних значеннях напруги, положення перемикача РПН та коефіцієнта завантаження. Аналіз цих характеристик дав змогу зробити такі висновки:

- при $k_3 > k_{3\text{зр}}$ мінімальний рівень втрат активної потужності трансформатора

відповідає нейтральному положенню анцапфи РПН. Значення $k_{зр}$ визначається співвідношенням втрат холостого ходу та навантажувальних втрат;

- при $k_3 < k_{зр}$ втрати активної потужності, головним чином, визначаються втратами ХХ. У зв'язку з цим мінімум ΔP не спостерігається в нейтральному положенні. Мінімум функції $\Delta P^* = f(n)$ зміщується в негативному напрямку;

- при зменшенні k_3 (перемикання РПН на «-») втрати АП збільшуються пропорційно до квадрата коефіцієнта завантаження трансформатора, положення анцапфи РПН і обернено пропорційно квадрату рівня напруги на вводах трансформатора. При цьому зі збільшенням k_3 втрати АП збільшуються значніше;

- при збільшенні k_3 (перемикання РПН на «+») навантажувальні втрати трансформатора залишаються практично незмінними, але збільшуються втрати ХХ. Приріст втрат АП зростає при зменшенні k_3 ;

- при виконанні оптимізації рівня напруги за критерієм мінімуму втрат АП необхідно враховувати залежність втрат АП трансформатора від номера ступеня регулювання РПН.

Визначення узагальнених СХН СЕПКО. Для отримання еквівалентних СХН необхідно виконати моделювання СЕПКО до шин ВН ЦТП. При цьому доцільно розглянути такі типові режими роботи СЕПКО у межах робочої зміни: піковий максимум, напівпіковий максимум, піковий мінімум, напівпіковий мінімум. Отримані еквівалентні СХН враховують при розробці системи оптимального регулювання напруги.

Розробка алгоритму оптимального регулювання напруги системи електропостачання ПП. Для розробки алгоритму оптимального регулювання напруги в СЕПКО необхідно визначити залежні змінні, граничні умови та цільову функцію.

Незалежними змінними є: асинхронні ЕП, які мають відповідні СХН; синхронні машини. При цьому кожна синхронна машина має свою RQ-діаграму, що визначає межі генерації (споживання) РП.

Трансформатори ГПП оснащені РПН, що дають змогу змінювати коефіцієнт трансформації K_m у заданих межах.

У разі оптимізації режиму СЕПКО за напругою дискретними змінними є номер ступеня регулювання РПН трансформаторів ГПП n_m , номер ступеня регулювання батарей статичних конденсаторів (БСК) $n_{БСК}$. Недискретними змінними є значення генерації (споживання) РП синхронними машинами Q_{CM} .

Отже, регулювання напруги в СЕПКО ПП може здійснюватися плавно (автоматичними регуляторами збудження синхронних машин) та ступінчасто (автоматичними регуляторами трансформаторів ГПП, а також включенням і відключенням БСК).

Цільова функція та граничні умови оптимізації рівня напруги в СЕПКО за критерієм мінімуму втрат активної потужності представлені у (16):

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P \rightarrow \min; \\ \Delta P = f(U_{EПm}, U_{ЦППn}, U_{CMj}, U_{БСКl}, P_{EПm}, Q_{EПm}, P_{ЦППn}, Q_{ЦППn}, P_{CMj}, Q_{CMj}, Q_{БСКl}, K_T); \\ P_{EПm} = f(U_{EПm}), Q_{EПm} = f(U_{EПm}), P_{ЦППn} = f(U_{ЦППn}), Q_{ЦППn} = f(U_{ЦППn}); \\ K_T = f(n_T), Q_l = f(U_{БСКl}, n_{БСКl}); m \in \overline{1, M}; n \in \overline{1, N}; j \in \overline{1, J}; l \in \overline{1, L}; \\ K_{Tmin} \leq K_T \leq K_{Tmax}; Q_{CMminj} \leq Q_{CMj} \leq Q_{CMmaxj}; \\ U_{EПminm} \leq U_{EПm} \leq U_{EПmaxm}; U_{ЦППminn} \leq U_{ЦППn} \leq U_{ЦППmaxn}; \\ U_{CMminj} \leq U_{CMj} \leq U_{CMmaxj}; U_{БСКminl} \leq U_{БСКl} \leq U_{БСКmaxl}, \end{array} \right. \quad (16)$$

де ΔP — втрати АП в СЕПКО; L — кількість БСК; $U_{EПm}$, $U_{ЦППn}$, U_{CMj} , $U_{БСКl}$ — рівень напруги у вузлах СЕПКО; $U_{ЦППmaxn}$, $U_{ЦППminn}$, $U_{EПmaxm}$, $U_{EПminm}$, U_{CMmaxj} , U_{CMminj} , $U_{БСКmaxl}$, $U_{БСКminl}$ — максимальні та мінімальні обмеження за рівнем напруги, що визначаються вимогами ГОСТ, паспортними даними електрообладнання; Q_{CMmaxj} , Q_{CMminj} — максимальні та мінімальні обмеження за рівнем споживання (генерації) РП, що визначаються паспортними даними СМ та Р-Q діаграмою; $P_{EПm} = f(U_{EПm})$; $Q_{EПm} = f(U_{EПm})$ — СХН n -го електроприймача ПП, $P_{ЦППn} = f(U_{ЦППn})$; $Q_{ЦППn} = f(U_{ЦППn})$ — СХН n -ої групи ЕП; $Q_{БСКl}$ — РП, що генерується l -ю БСК, $K_{m,max}$, $K_{m,min}$ — мінімальний та максимальний коефіцієнти трансформації трансформаторів ГПП.

Алгоритм визначення оптимального рівня напруги. З урахуванням отриманої цільової функції (16) розроблено алгоритм визначення оптимального рівня напруги в СЕПКО за критерієм мінімуму втрат активної потужності (рис. 2). Алгоритм передбачає роздільне виконання операцій розрахунку параметрів поточного режиму та його оптимізації. Це дає змогу здійснювати моніторинг стану СЕПКО та забезпечувати максимальну ефективність використання пристроїв регулювання напруги.

Запропонований алгоритм включає такі блоки:

- блок 1 — підготовки вихідних даних. У ньому виконується збір даних про топологію електричної мережі (матриці вузлів, гілок) та формується матриця СХН;

- блок 2 — оновлення вихідних даних і розрахунку поточного режиму СЕПКО. Виконується збір даних телевимірювань і коригування вихідних даних. За отриманими даними виконується визначення навантажень для номінального рівня напруги та оновлення матриці вузлів та гілок. Далі виконується розрахунок поточного режиму функціонування СЕПКО;

- блок 3 — суміщеної оптимізації. У ньому з певною періодичністю здійснюється визначення значень залежних змінних для отримання мінімуму цільової функції (16). Принцип запропонованого алгоритму оптимізації полягає у спільному розгляді дискретних та недискретних змінних. На першому етапі оптимізації виконується формування матриці станів СЕПКО. Матриця станів відображає су-

Для розрахунку електричних режимів проводиться підготовка вихідних даних. У рамках алгоритму оптимального регулювання напруги використовується метод Ньютона (Сегеда, 2015).

Після виконання симуляції поточного режиму виконується оптимізація режиму роботи СЕПКО. Для прискорення процесу оптимізації пропонується окремо розглядати дискретні та недискретні залежні змінні. Види залежних змінних, які можуть бути змінені для отримання оптимального режиму, представлені в табл. 2.

Оптимізація значень недискретних змінних. Для вирішення завдання нелінійної умовної оптимізації доцільно використати метод послідовного квадратичного програмування (SQP) і метод внутрішньої точки. Ці методи найбільше відповідають завданням оптимізації режимів електричних мереж (Баженов, 2022).

Таблиця 2. Види залежних змінних, регульованих у процесі оптимізації режиму роботи СЕПКО

Найменування змінної	Позначення	Тип	Примітка
РП, що видається або споживається синхронними машинами	$Q_{смj}$	Недискретна	Для кожної синхронної машини в СЕПКО ПП визначено величину $Q_{смj}$, що входить в інтервал $[Q_{см,мінj}, Q_{см,максj}]$. Верхня та нижня межа визначається особливостями кожної синхронної машини.
Номер ступеня РПН	n_m	Дискретна	Для кожного трансформатора визначено дискретне значення змінної n_i , що знаходиться в межах $n_m = [n_{m,мін}, n_{m,макс}]$.
Номер ступеня БСК	«БСК»	Дискретна	Кожна БСК має певну кількість ступенів. При цьому потужність БСК дорівнює дискретній величині з ряду $n_{БСК} = [n_{БСК,мін}, n_{БСК,макс}]$.

Примітка: для кожного трансформатора визначено дискретне значення змінної n_i , що знаходиться в межах $n_m = [n_{m,хв}, n_{m,макс}]$.

Принцип запропонованого алгоритму поєднаної оптимізації полягає в окремому розгляді дискретних і недискретних змінних.

Реалізація оптимального регулювання напруги в СЕПКО ПП з використанням SCADA-систем (Карпалюк, 2018). Ця система дає змогу реалізувати розроблений алгоритм оптимального регулювання напруги та включає представлені нижче підсистеми.

Підсистема нижнього рівня включає вимірювальний комплекс (вимірювальні ТС та ТН, датчики струму та напруги, вбудовані в технологічне обладнання, мікропроцесорні лічильники), який здійснює обробку параметрів режиму реального часу. Для реалізації зв'язку з мікропроцесорними лічильниками використовується модемний інтерфейс RS 232 або RS-485. Якщо на ЦТП встановлений контролер з інтерфейсом RS-485, сигнал передається на дискретний вхід програмованого контролера системи SCADA. До підсистеми нижнього рівня також відносяться блоки керування засобами регулювання напруги. БАР РПН, блок управління БСК, блок АРВ СМ. Вони можуть бути підключені до системи SCADA за допомогою інтерфейсів RS-485 та Ethernet.

Підсистема середнього рівня включає проміжні контролери, що приймають дані від контролерів та датчиків нижнього рівня. Їх основне завдання — збір даних і передача сигналів управління від технологічного обладнання.

Підсистема верхнього рівня. На цьому рівні одержувані дані від підсистем нижнього та середнього рівня класифікуються та візуалізуються. На підставі отриманих даних за заданими алгоритмами формуються управляючі сигнали.

Отже, у рамках ПК SCADA можна реалізувати алгоритм оптимального регулювання напруги в СЕПКО. Реалізація запропонованого алгоритму роботи системи регулювання напруги в середовищі SCADA дасть змогу знизити втрати електроенергії та підвищити її якість за показником «відхилення напруги» в умовах зміни режиму роботи системоутворюючої мережі.

Висновки

Енергоефективні режими систем електрозабезпечення промислових і комунальних об'єктів можуть забезпечуватися підтриманням раціональних рівнів напруги з використанням РПН трансформаторів ГПП (районних підстанцій), врахуванням положення ПБЗ трансформаторів цехових і міських ТП, регулюванням реактивної потужності БСК та синхронних машин.

При визначенні раціональних рівнів напруги необхідно враховувати статичні характеристики навантаження за напругою, що дасть змогу мінімізувати споживання активної та реактивної потужності.

Для реалізації регулювання напруги в системах електрозабезпечення необхідно використовувати SCADA системи.

Для підвищення ефективності алгоритму оптимального регулювання напруги доцільним є виконання досліджень у галузі розвитку методів оперативного прогнозування електричних навантажень у СЕПКО.

Література

- Андрієнко, В.М., & Куєвда, В. П. (2010). *Електричні машини*. Київ. НУХТ.
- Баженов, В. А. (2022). *Моделі оптимального розвитку енергосистем: методи оптимізації розвитку електричних мереж енергосистем*. Київ. НТУУ «КПІ».
- Балюта, С. М., Копилова, Л. О., Корольов, Є. О. (2016). Управління напругою в системі електропостачання промислового підприємства. *Цукор України*, 3, 20—24.
- Балюта, С. М., Йовбак, В. Д., Копилова, Л. О., Литвин, І. Ю. (2017). Математична модель електроспоживачів для керування напругою цехового трансформатора. *Наукові праці НУХТ*, 23(3), 126—140.
- Балюта, С. М., Йовбак, В. Д., Копилова, Л. О. (2017). Алгоритм визначення оптимальних рівнів напруги цехового трансформатора. *Цукор України* 3(135), 29—36.
- Добровольська, Л. Н., Кулик, В. В., & Лежнюк, П. Д. (2018). *Електроощадні технології в електричних мережах енергосистем*. Луцьк. Луцький НТУ.
- Карпалюк, І. Т. (2018). *Комп'ютерні інформаційні технології в енергетиці*. Харків. ХНУМГ ім. О. М. Бекетова.
- Коваль, А. В. (2018). *Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів*. Житомир, ЖДТУ.
- Левицький, С. М., & Колмачов, К. І. (2015). *Система автоматичного керування трансформатором з інтелектуальним регулятором напруги*. Вінниця. ВНТУ.

Плешков, П. Г., Сіріков, О. І., & Безкровна, Г. В. (2011). Оптимізація рівня напруги в цехових мережах промислових підприємств. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*, 24(1), 237—242.

Попов, В. А., Ткаченко, В. В., & Ярмолюк, О. С. (2021). *Ефективне керування режимами систем забезпечення споживачів електричною енергією*. Київ. НТУУ «КПІ».

Сегеда, М. С. (2015). *Електричні мережі та системи*. Львів. НУ «Львівська політехніка».

Толочко, О. І. (2016). *Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу*. Київ. НТУУ «КПІ».

Яндульський, О. С., Труніна, Г. О., & Нестерко, А. Б. (2021). *Регулювання напруги в розподільних електричних мережах з відновлюваними джерелами енергії*. Київ. НТУУ «КПІ».

Baliuta, S. M., Kopylova, L. O., Mashchenko, O. A. (2018). System analysis and approaches to the development of the automated electrical energy consumption and supply system of the food industry enterprise. *Ukrainian Journal of Food Science*, 1(6), 114—127.

Baliuta, S., Kopylova, L., Kuievda, Iu., Kuevda, V., Kovalchuk, O. (2020). Fuzzy logic energy management system of food manufacturing processes. *Ukrainian Food Journal*, 9(1), 221—239.

Canard, J.-F. (2000). *Impact de la génération d'énergie dispersée dans les réseaux de distribution*. (Ph. D. dissertation). Institut National Polytechnique de Grenoble. Grenoble.

Caire, R. (2004). *Gestion de la production décentralisée dans les réseaux de distribution*. (Ph. D. dissertation). Institut National Polytechnique de Grenoble. Grenoble.

Rami, G. (2006). *Contrôle de tension auto adaptatif pour des productions d'énergies décentralisées connectées au réseau de distribution*. (Ph. D. dissertation). Institut National Polytechnique de Grenoble. Grenoble.

Richardot, O. (2006). *Réglage coordonné de tension dans les réseaux de distribution à l'aide de la production décentralisée*. (Ph. D. dissertation). Institut National Polytechnique de Grenoble. Grenoble.

Rahimi, S., Marinelli, M., Silvestro, F. (2012). *Evaluation of Requirements for Volt/Var Control and Optimization Function in Distribution Management Systems*. In *Proceedings of 2012 IEEE International Energy Conference and Exhibition*. IEEE, 331—336.

HYDRODYNAMIC STUDY OF A LIQUID JET GROUP IN APPLIANCES WITH CYLINDRICAL DISTRIBUTION DEVICES

V. Bondar, O. Bilyk, N. Ivashchenko

National University of Food Technologies

Keywords:

*Vapor-Liquid Flows,
Cylindrical Jets,
Condensation,
Heat Exchange,
Hydrodynamics,
Heat Exchange Devices*

Article history:

Received 27.03.2023
Received in revised form
07.04.2023
Accepted 17.04.2023

Corresponding author:

O. Bilyk

E-mail:

bilyklenna@gmail.com

ABSTRACT

The analysis of existing studies regarding the process of steam condensation from a vapor-gas mixture on liquid jets allows us to conclude that the vast majority of them are experimental in nature, so the results of these studies can be correctly used only for the appropriate range of parameter changes of the liquid and gaseous phases. Also, the subject of research in them is mainly the hydrodynamic mode of a continuous liquid jet along its entire length.

During theoretical and experimental studies, it was established that the shape of the jets flowing out of the cylindrical holes counter to the oncoming steam current differs from cylindrical shape, depends on the flow parameters, and is characterized by their rotation with intense wave formation on the jet surfaces. The jets are combined with each other with their subsequent disintegration along the current, dispersed and carried away with the steam current. Accordingly, it is incorrect to apply existing methods of heat transfer calculation to the analysis of heat transfer in this type of jets, only on solid jets of liquid, outside the investigated range of parameters. That is, using classical equations is impossible due to the complexity of calculating the cross-sectional area of jet groups flowing through cylindrical holes, and accordingly, the area of the heat exchange surface. Namely, it is impossible to use the traditional concept of the heat transfer coefficient as a parameter. Therefore, most of the existing calculation methods are based on using dimensionless complexes that describe the degree of change in the temperature of the liquid along the length of the jets under the appropriate geometric conditions. That is, without finding the limits of changes in the continuity of liquid jets, determining the limiting hydrodynamic modes using the existing methods of heat exchange calculation is incorrect.

ГІДРОДИНАМІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГРУПИ СТРУМЕНІВ РІДИНИ В АПАРАТАХ ІЗ ЦИЛІНДРИЧНИМИ РОЗПОДІЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ

В. І. Бондар, О. А. Білик, Н. В. Іващенко

Національний університет харчових технологій

Аналіз існуючих досліджень процесу конденсації пари з парогазової суміші на струменях рідини дає змогу зробити висновок про те, що переважна їх більшість має експериментальний характер, тому результати цих досліджень коректно використовувати тільки для відповідного діапазону змін режимних параметрів рідкої та газоподібної фази. Також переважно предметом дослідження є гідродинамічний режим суцільного по всій його довжині струменю рідини.

Під час проведення теоретичного та експериментального досліджень встановлено, що форма струменів, які витікають із циліндричних отворів протитечією до набігаючого парового потоку, відрізняються від циліндричної, залежить від параметрів течії, характеризуються їх обертанням з інтенсивним хвилюванням на поверхнях струменів. Струмені поєднуються між собою з подальшим їх розпадом вздовж течії, диспергуються та виносяться з паровим потоком. Відповідно, застосування до аналізу теплообміну в струменях цього типу існуючих методик розрахунку теплоперенесення тільки на суцільних струменях рідини, поза межами дослідженого діапазону параметрів є некоректним. Тобто внаслідок складності обчислення площі поперечного перерізу груп струменів, які витікають через циліндричні отвори, а відповідно до цього, і площі поверхні теплообміну, використання класичних рівнянь неможливе, тобто відсутня можливість як параметр використовувати традиційне поняття коефіцієнта тепловіддачі. Через це більшість існуючих методик розрахунків базується на використанні безрозмірних комплексів, які описують ступінь зміни температури рідини вздовж довжини струменів за відповідних геометричних умов. Тобто без знаходження меж зміни суцільності струменів рідини, визначення граничних гідродинамічних режимів використання існуючих методик розрахунку теплообміну некоректне.

Ключові слова: парорідинні потоки, циліндричні струмені, конденсація, теплообмін, гідродинаміка, теплообмінні апарати.

Постановка проблеми. Якщо розглядати тепломасообмінні апарати змішування, які використовуються в харчовій промисловості, з точки зору руху потоків теплоносіїв, то одним з найбільш важливих питань є визначення граничних параметрів течій, які визначають початок руйнування суцільної структури струменя, тобто початок його диспергування (Harvie, & Fletcher, 2021).

Гідродинамічний режим роботи теплообмінних апаратів впливає на стабільність його роботи, а також обумовлює умови перенесення теплової енергії та маси (Sokolenko, Shevchenko, Vasylykivskyi, Boiko, & Shevchenko, 2019). Але на сьогодні немає рекомендацій щодо розрахунку гідродинамічних режимів апаратів з циліндричними розподільчими пристроями, а саме для групи циліндричних вільностікаючих струменів рідини, і, відповідно, їх конструктивних розрахунків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В харчовій промисловості набули широкого застосування тепломасообмінні апарати з безпосереднім контактом фаз. Ці апарати використовуються для регенерації теплової енергії, нагрівання води в

контактних водопідігрівачах, під час очищення газів від шкідливих механічних домішок тощо (Achintya Mukhopadhyay, & Swarnendu Sen, 2019). Теплообмінні апарати з безпосереднім контактом фаз порівняно з рекуперативними теплообмінниками мають вищий коефіцієнт енергетичної ефективності, конструктивно не складні, мають меншу металоємність, а також можуть бути виготовлені з неметалевих матеріалів. Це дає змогу створити нові високоефективні тепломасообмінні установки більшої потужності, при цьому зменшити забруднення навколишнього середовища (Harvie, & Fletcher, 2001).

Але на сьогодні широке застосування такого типу обладнання з безпосереднім контактом фаз у харчовій промисловості стримується рядом причин:

- теплотехнологічні показники апаратів не відповідають вимогам, яке ставить сучасне виробництво з високою ефективністю та інтенсифікацією технологічного процесу;

- використання комп'ютерно-інтегрованих технологій для комплексної автоматизації хіміко-технологічних процесів вимагає створення високотехнологічного обладнання з широким діапазоном регулювання їх параметрів без погіршення експлуатаційних характеристик, але, на жаль, існуюче теплообмінне обладнання не в змозі це забезпечити (Bondar, 2013).

Аналіз конструкцій теплообмінних апаратів з безпосереднім контактом фаз (Василенко, Колядюк та ін., 2008), а саме розподільчих пристроїв для надходження рідкого теплоносія в паровий простір апаратів за протитечійного та перехресного току, дає змогу зробити висновок, що однією з найперспективніших для харчової ділками пристроями циліндричного типу.

Створення пароконтактних тепломасообмінних апаратів запропонованого типу і розроблення обладнання різної теплової потужності потребує науково обґрунтованих методик їх теплових, гідравлічних і конструктивних розрахунків (Бондар, 2013). А це все можливе тільки за умови комплексного науково достовірного дослідження та подальшого аналізу результатів.

Мета статті: провести комплексне дослідження гідравлічних характеристик під час конденсації пари з парогазової суміші на поверхні груп циліндричних струменів нестисливої рідини різних геометричних параметрів при змінних витратних характеристиках пароструминних потоків відповідно до умов роботи апаратів харчових виробництв; дослідити гідродинамічні режими струменів під час вільного витікання рідини через циліндричні отвори різних геометричних параметрів; розробити безрозмірний комплекс для розрахунку початку руйнування груп струменів.

Матеріали і методи. Об'єкт дослідження — двофазні парорідинні течії. Предмет дослідження — струменеві течії краплинної рідини з конденсацією пари на їх поверхні. Методи дослідження — експериментальні та математичне моделювання. Дослідна установка, наведена на рис. 1, була виготовлена в Інституті вугільних технологій НАН та змонтована на кафедрі теплоенергетики Національного університету харчових технологій, дає змогу досліджувати процеси теплообміну та гідродинамічні характеристики під час конденсації пари на циліндричних вільностікаючих струменях нестисливої рідини за протитечійного потоку парив широкому діапазоні зміни витратних і режимних параметрів двофазних потоків, характерних для харчової промисловості.

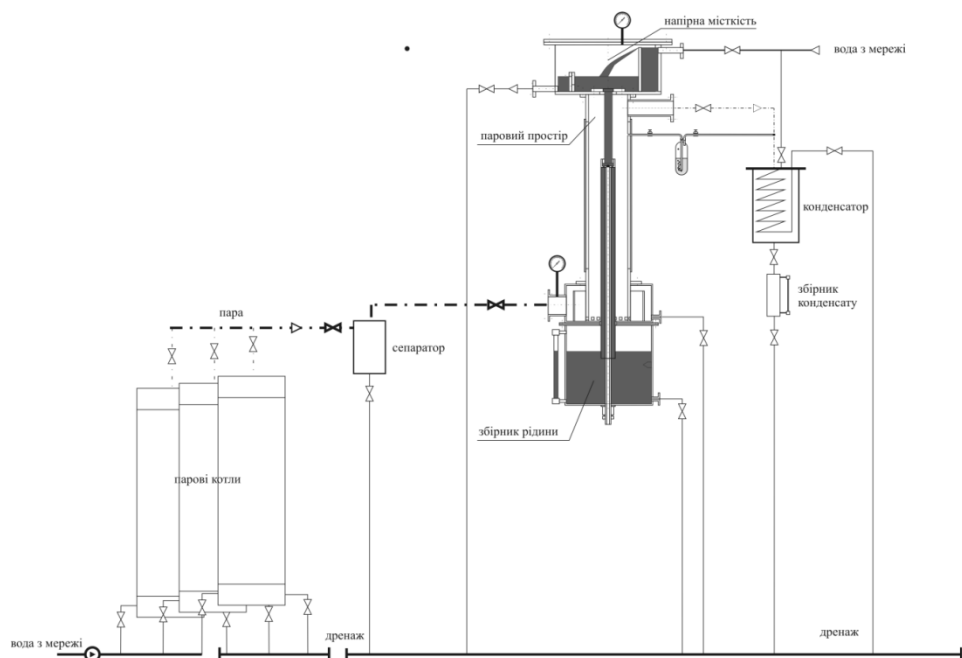


Рис. 1. Установка для дослідження гідродинамічних режимів руху рідини

Рідина витікала в паровий простір через шайбу, в якій зроблені отвори діаметрами в межах 4...10 мм з різною відстанню між отворами. Кількість отворів та крок між ними залежав від діаметра струменів та розміру парового простору, розташування отворів шахове. Під час дослідження гідродинамічних режимів витікання груп циліндричних вільностікаючих струменів рідини використовувався візуальний метод дослідження, як найбільш достовірний.

Викладення основних результатів дослідження. На основі візуального дослідження струменевої течії під час проведення експерименту й аналізу отриманих результатів пропонується така класифікація гідродинамічних режимів руху групи циліндричних вільностікаючих струменів рідини (рис. 2).

1. *Режим стійкої течії.* Струмені під час усього процесу витікання не змінюють своєї форми. Траєкторія руху струменів вертикальна. Форма струменя в перерізі повністю повторює форму отвору, з якого витікає. Пара обтікає групу струменів, практично не змінюючи їхні форми й траєкторії руху (рис. 2, а).

2. *Хвильовий режим.* Перехід між режимом стійкої течії та хвильовим режимом відбувається поступово внаслідок збільшення витрати води та швидкості набігаючого потоку пари. Струмені дестабілізуються. Режим характеризується утворенням хвиль на поверхнях струменів, відхиленням струменя від вертикальної траєкторії витікання та періодичною зміною його форми внаслідок появи на поверхні струменя хвиль (рис. 2, б).

3. *Режим злипання струменів.* Із збільшенням швидкості набігаючого парового потоку зростає амплітуда коливання струменів і, залежно від відстані, між

струменями починається процес зливання струменів, початок диспергування струменів (рис. 2, в).

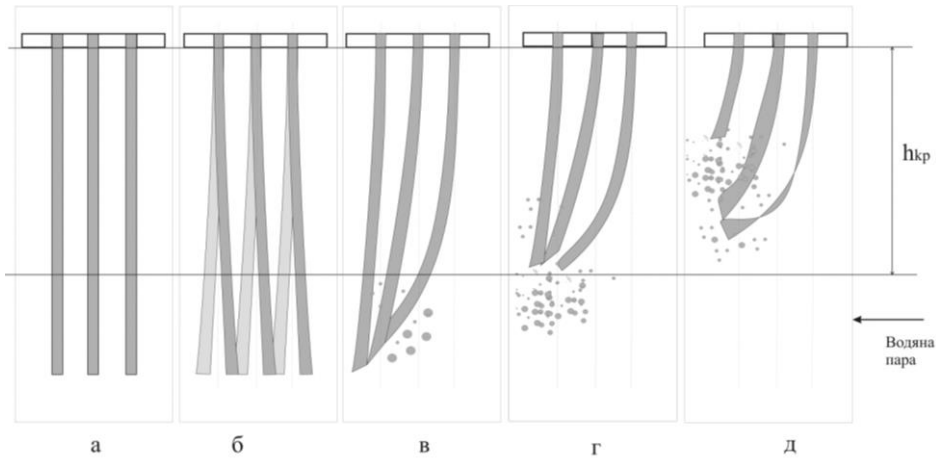


Рис. 2. Режими руху рідини

4. *Диспергований гідродинамічний режим* настає під час подальшого зростання витрати рідини та збільшення швидкості набігаючого парового потоку. Траєкторія витікання рідини з отвору значно відрізняється від вертикального. Струмені рідини відхиляються вбік, різко зростає амплітуда коливань, вони зливаються, порушується суцільність, немає чіткої межі між поодинокими струменями. Утворюються маленькі краплі рідини, які виносяться потоком пари (рис. 2, г).

5. *Граничний гідродинамічний режим*. Пара підхоплює струмені рідини, рідина рухається пеленою, частина рідини виноситься потоком пари з парового простору, частина пари барботує через товщу рідини. Цей режим періодично змінюється на диспергований гідродинамічний (рис. 2, д).

Унаслідок коливальних процесів встановити чіткі межі між наведеними гідродинамічними режимами руху струменів рідини досить складно.

Класифікацію струменевих течій проводили і раніше (Василенко, 2003; Рогоза, 2000; Василенко, Шутюк, & Бондар, 2015; Василенко, Форсюк, & Бондар, 2003), але для вільних струменів, які витікають через щілинні розподільчі пристрої або поодинокі циліндричні.

Стабільність роботи тепломасообмінних апаратів обумовлена початком диспергованого гідродинамічного режиму (Дементьева, 1971; Василенко, Форсюк, Майстренко, & Бондарь, 2008; Sokolenko та ін., 2018), тому надзвичайно важливо визначити умови, за яких починається диспергований гідродинамічний режим, тобто початок втрати струменями своєї суцільності.

Попередній аналіз літературних джерел і гідродинамічного дослідження групи струменів рідини за протитечісного парового потоку дав змогу зробити висновок, що перехід між гідродинамічними режимами залежить від діаметрів отвору, кроку між ними, швидкості рідини, динамічного напору парового потоку, теплофізичних властивостей рідини та пари. Тобто межа існування суцільних струменів і

початок диспергування залежить від таких величин: діаметра струменя рідини, відстані між ними, кінетичної енергії парового потоку, швидкості виходу рідини з отвору, в'язкості, поверхневого натягу, прискорення вільного падіння:

$$h_{xp} = f\left(\left(\rho_n v_n^2\right); v_p; d_0; s; v_p; \sigma_p; \rho_p; g\right). \quad (1)$$

Особливо впливає на початок переходу між *хвилювим режимом* і *режимом злипання струменів* відстань між сусідніми отворами, що впливає тільки на перехід між двома граничними режимами, тому в описі загальної картини зміни режимів руху рідини її можна не використовувати.

З огляду на вищенаведене можна сказати, що початок диспергування струменів рідини описується такою функціональною залежністю:

$$h_{xp} = f\left(\left(\rho_n v_n^2\right); v_p; d_0; v_p; \sigma_p; \rho_p; g; k\right), \quad (2)$$

в якій k — це коефіцієнт, який враховує відношення кроку між струменями до його отвору.

Якщо використовувати теорію подібності, то відповідно до теореми Букінгема, цю функціональну залежність можна виразити співвідношенням без розмірних величин (Sedov, 1993). Використаємо аналіз розмірностей і метод Релея (Chemloul, 2020) для аналізу розмірних систем. Знайдемо відношення розмірностей змінних, які описують систему витікання струменю, до трьох основних одиниць: маси, довжини, часу; їх розмірності відповідно позначаються $[M]$, $[L]$, $[T]$. Розглядається сім фізичних величин, та вибрані три основні одиниці. Відповідно до π -теореми, число безрозмірних комбінацій повинно дорівнювати $(7-3)=4$. Одне з них визначається, три інші — визначальні. Отже, зміна структури струменя може бути описана за допомогою критеріальної залежності, яка містить в собі три визначальних числа подібності. Визначимо ці числа подібності та функціональну залежність між ними.

Введемо припущення, що між цими величинами існує співвідношення у вигляді:

$$f\left(\left(\rho_n v_n^2\right)^a; \left(v_p\right)^b; \left(d_0\right)^c; \left(v_p\right)^d; \left(\sigma_p\right)^g; \left(g\right)^e; \left(k\right)^i\right) = h_{xp}. \quad (3)$$

Розпишемо цей вираз через розмірності:

$$f\left(\left(M L^{-1} T^{-2}\right)^a; \left(L T^{-1}\right)^b; \left(L\right)^c; \left(L^2 T^{-1}\right)^d; \left(M T^{-2}\right)^g; \left(L T^{-2}\right)^e; \left(L L^{-1}\right)^i\right) = L. \quad (4)$$

Спростимо цей вираз, оскільки $(LL^{-1})^i = 1$, і, як попередньо зазначалося, цей параметр впливає тільки на перехід між двома сусідніми режимами та не впливає на початок граничного гідродинамічного режиму.

Щоб рівняння було однорідним відносно розмірностей, повинні виконуватися такі співвідношення між показниками степеню:

$$\begin{aligned} \text{для } M: & \quad a+g=0; \\ \text{для } L: & \quad -a+b+c+2d+e=1; \\ \text{для } T: & \quad -2a-b-d-2g-2e=0. \end{aligned}$$

Є три рівняння з п'ятьма невідомими. Спростимо їх, виключивши e , g . Зробивши перетворення, отримаємо:

$$\begin{aligned} a &= -g; \\ c &= (1+a+b); \\ b &= (-d). \end{aligned}$$

Врахувавши все вищенаведене та підставляючи ці співвідношення для показників степеня у формулу (4), отримаємо:

$$f\left(\left(\rho_n v_n^2\right)^a; \left(v_p\right)^b; \left(d_0\right)^{1+a+b}; \left(v_p\right)^{-b}; \left(\sigma_p\right)^{-a}\right)=h_{kp} . \quad (5)$$

Об'єднуючи члени з однаковими показниками степеня, складаємо безрозмірні комбінації:

$$\frac{h_{kp}}{d_0}=f\left[\left(\frac{\rho_n v_n^2 d_0}{\sigma_p}\right)^a; \left(\frac{v_p d_0}{v_p}\right)^b\right] . \quad (6)$$

Або

$$\frac{h_{kp}}{d_0}=f\left(We^a; Re^b\right), \quad (7)$$

де $We=\frac{\rho_n v_n^2 d_0}{\sigma_p}$ — число Вебера; $Re=\frac{v_p d_0}{\nu_p}$ — число Рейнольдса.

Далі, перейшовши до безрозмірних координат, отримаємо:

$$h_{kp}^*=f\left(We_{kan}^a; Re^b\right), \quad (8)$$

де $h_{kp}^*=\frac{h_{kp}}{\sqrt{\sigma_p/\rho_p g}}$ — безрозмірна висота початку диспергування струменя;

h_{kp} — висота початку диспергування струменя; $We_{kan}=\frac{\rho_n v_n^2}{\sqrt{\sigma_p \rho_p g}}$ — капілярне

число Вебера; d_0 — діаметр отвору розподільчого пристрою.

Як визначальний розмір струменя доцільно було прийняти діаметр струменя для суцільної ділянки, але, внаслідок складності вимірювання цієї величини, характерним розміром вибрано діаметр отвору розподільчого пристрою. По-перше, цей розмір легко контролюється, ним легко оперувати в розрахунках та експериментах; по-друге, він спільно з іншими введеними в безрозмірне рівняння (5) величинами опосередковано характеризує розпад струменя.

Також бажано враховувати змінність фізичних параметрів рідини та пари. Однак аналіз дослідних даних вказує на незначну межу змін фізичних параметрів потоків. Для отримання кількісних співвідношень будуть проведені відповідні дослідження.

Висновки

1. Через відсутність методики розрахунків дослідження теплообміну та гідродинамічних характеристик для груп вільностікаючих струменів рідини, що витікають через циліндричні розподільчі пристрої, в діапазоні змін параметрів, характерних для теплообмінних апаратів харчової промисловості, було проведено комплексне дослідження гідравлічних характеристик під час конденсації пари з парогазової суміші на поверхні груп циліндричних струменів нестисливої рідини.

2. Аналіз гідродинаміки групи циліндричних струменів рідини дав змогу розробити фізично обґрунтовану класифікацію режимів його течії: режим стійкої течії, хвильовий режим, режим злипання струменів, диспергований гідродинамічний режим і граничний гідродинамічний режим.

3. Аналіз результатів дослідження дав змогу розробити безрозмірнісний комплекс для розрахунку початку руйнування груп струменів, що витікають з циліндричних розподільчих пристроїв за протитечійного та перехресного парового потоку.

Література

Бондар, В. І. (2013). *Теплообмін під час конденсації пари на поверхні циліндричного струменя рідини*. Київ, Національний університет харчових технологій.

Бондар, В. І., Василенко, С. М. (2013). *Гідродинаміка поодинокого струменя рідини за протитечійного потоку пари*. Проблеми промислової теплотехники: VIII Міжнарод. конф. Київ: НУПТ.

Василенко, С. М. (2003). *Теплообмін в парорідинних течіях теплообмінних апаратів харчових виробництв*. Київ, Нац. ун-т харч. технологій.

Василенко, С. М., Колядюк, Н. О., Бойко, В. О., Бондар, В. І. (2008). *Оптимізація тепломасообмінних апаратів з безпосереднім контактом фаз в структурі теплотехнічного комплексу цукрового заводу*. Матеріали доповідей 74-ї наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. К.: НУХТ.

Василенко, С. М., Форсюк, А. В., Бондар, В. І. (2003). Гідродинаміка парорідинних течій у плівкових випарних апаратах. *Харчова промисловість*, 2, 37—45.

Василенко, С. М., Форсюк, А. В., Майстренко, І. А., Бондарь, В. І. (2008). Моделирование гидравлических режимов кольцевых парожидкостных течений. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*, 6, 101—111.

Василенко, С. М., Шутюк, В. В., Бондар, В. І. (2015). Гідродинаміка окремих струменів рідини в апаратах з циліндричними розподільчими пристроями. *Цукор України*, 11(119), 86—97.

Дементьева, К. В. (1971). *Исследование контактного теплообмена в процессе конденсации пара на струях переохлажденной жидкости*. Киев.

Рогоза, О. Б. (2000). *Теплообмін при конденсації водяної пари на поверхні вільного струменя рідини*. Київ, Укр. держ. ун-т харч. технологій.

Achintya Mukhopadhyay, Swarnendu Sen (2019). Fundamentals of Combustion Engineering. <https://doi.org/10.1201/9780429158216>.

Bondar, V., Vasylenko, S., Klymova, O. (2013). *Study of heat exchange in the enthalpy exchanger with direct contact of phases*. The Second North and East European Congress on Food NEEFood—2013. K.: NUFT.

Chemloul, N.-E. S. (2020). Dimensional Analysis: Rayleigh Method and Vaschy-Buckingham Method. In: Dimensional Analysis and Similarity in Fluid Mechanics. <https://doi.org/10.1002/9781119788041.ch2>.

Harvie, D. J. E., Fletcher, D. F. (2010). A simple kinetic theory treatment of volatile liquid-gas interfaces. *Transactions of ASME. Journal of Heat Transfer*, 123, 486—491.

Sedov, L. I. (1993). Similarity and Dimensional Methods in Mechanics. <https://doi.org/10.1201/9780203739730>.

Sokolenko, A., Shevchenko, O., Vasylykivskyi, K., Boiko, O., Shevchenko, A. (2019). Modeling and synthesis of systems of intensive mass exchange. *Ukrainian Food Journal*, 8(4), 861—872. DOI: 10.24263/2304-974X-2019-8-4-16.

Sokolenko, A., Shevchenko, O., Vasylykivskyi, K., Stepanets, O., Maksymenko, I., Shevchenko, A. (2018). Intensification of energy and mass exchange processes in fermentation technologies: monograph, MEDIATEN, Pleven.

TESTING OF THE COLLECTING PROPOLIS DEVICE ON THE BEE FARMS IN DIFFERENT REGIONS OF UKRAINE

R. Dvykaliuk

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Key words:

*Productivity
Equipment
Propolis
Cleaning
Nets*

Article history:

Received 29.03.2023
Received in revised form
07.04.2023
Accepted 17.04.2023

Corresponding author:

R. Dvykaliuk
E-mail:
leonora.adamchuk@gmail.
com

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the performance of the developed device for collecting propolis using EVA nets in the conditions of bee farms in different regions of Ukraine. The research was carried out on seven beekeeping farms in Cherkasy, Poltava, Ternopil, Khmelnytskyi, Zhytomyr regions, where bee colonies were selected and 7 experimental analogue groups were formed. The EVA nets were placed in the hives for 70 days, after which they were taken out for cooling at $t=+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 60 min and cleaning on the device. The nets from each experimental group were cleaned separately to control propolis productivity in different regions of Ukraine. During the test of the device, the following indicators were investigated: the number of cycles required to clean the net, the time spent on cleaning one net, the time of passing one net through the device, the mass of propolis sticking to the shafts, the load of the device during cleaning, the mass of the obtained propolis. As a result of scientific and production tests, the productivity of collecting propolis by the proposed method was established in the range from 2.91 to 4.44 kg per season from 100 bee colonies, depending on the research region. Using the device at a certain temperature regime of $19.82\pm 1.92\text{ }^{\circ}\text{C}$ creates a comfortable working medium for the operator. One operating cycle of the device was enough to clean one net at the set temperatures. The shafts of the device without nets in idle run rotate at a speed of 74.1 rpm ($n=4$), and provided that the cooled ($t=+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau=60\text{ min}$) net without propolis passes 58.5 rpm. The device in the active cleaning mode for one shift consumes 0.679 kW/h. The propolis collection device can be used for beekeeping to clean 227 nets in one working day. On the farm for 500 bee colonies, 1 device can be used that is suitable for cleaning 1000 nets in 4.4 working days. The farm for 500 bee colonies can return an investment in the collection of propolis after the completion of three beekeeping seasons. Recommendations for gathering propolis using the proposed method are offered to collectors, taking into account the experience and results obtained during the research.

ВИПРОБУВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗБОРУ ПРОПОЛІСУ В УМОВАХ ПАСІЧНИХ ГОСПОДАРСТВ РІЗНИХ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

Р. М. Двикалюк

Національний університет біоресурсів і природокористування України

У статті визначено продуктивність розробленого пристрою для збору прополісу за допомогою сіток EVA в умовах пасічних господарств різних регіонів України. Дослідження проводили в семи пасічницьких господарствах у Черкаській, Полтавській, Тернопільській, Хмельницькій, Житомирській областях, де було відібрано бджолині сім'ї та сформовано сім дослідних груп-аналогів. Сітки EVA були розміщені у вуликах впродовж 70 днів, після чого відбиралися для охолодження при $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 60 хв та очищення на пристрої. Сітки з кожної дослідної групи очищали окремо для контролю прополісної продуктивності в різних регіонах України. Під час випробування пристрою досліджували кількість циклів, необхідних для очищення сітки, час, витрачений на очищення однієї сітки, час проходження однієї сітки через пристрій, масу прополісу, що налипає на вали, навантаження пристрою під час очищення, масу отриманого прополісу.

У результаті проведених науково-виробничих випробувань встановили продуктивність збору прополісу запропонованим методом у межах від 2,91 до 4,44 кг за сезон від 100 бджолиних сімей залежно від регіону досліджень. Використання пристрою за визначеного температурного режиму $19,82 \pm 1,92\text{ }^{\circ}\text{C}$ створює комфортні умови роботи оператора. Для очищення однієї сітки за встановлених температур було достатньо одного робочого циклу пристрою. Вали пристрою без сіток на холостому ході обертаються зі швидкістю 74,1 об/хв ($n=4$), а за умови проходження охолодженої ($+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 60 хв) сітки без прополісу — 58,5 об/хв. Пристрій в активному режимі очищення протягом однієї зміни споживає 0,679 кВт/год.

Пристрій для збору прополісу може бути використаний для пасічницьких господарств для очищення 227 сіток за один робочий день. У господарстві на 500 бджолиних сімей достатньо одного пристрою, який придатний для очищення 1000 сіток за 4,4 робочих днів. Господарство на 500 бджолиних сімей може повернути інвестицію у збір прополісу після завершення трьох пасічницьких сезонів. Заготівельникам надано рекомендації щодо збору прополісу запропонованим методом з урахуванням досвіду та результатів, отриманих під час дослідження.

Ключові слова: продуктивність, устаткування, прополіс, очищення, сітки.

Постановка проблеми. Сьогодні збір прополісу в пасічницьких господарствах України здійснюється двома способами. Перший передбачає очищення елементів гнізда пасічницькою стамескою або іншими засобами як під час активного сезону, так і після його завершення з рамок, що формують запас суші на наступний сезон. Другий спосіб передбачає розміщення сіток або решіток над гніздом медоносних бджіл з подальшим їх охолодженням та очищенням. Як і в

першому, так і в другому випадку на сьогодні відсутні пристрої, які б надавали можливість механічного очищення сіток від прополісу, тому розроблено пристрій для очищення сіток від прополісу. В той же час дослідження ефективності його використання в реальних виробничих умовах є необхідною умовою подальшого виробництва і впровадження пристрою. Наявність виробничого устаткування є одним із важливих факторів розвитку виробництва в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Прополіс — клейка смолиста речовина, зібрана з бруньок, листя, стебел диких рослин і перероблена бджолами, яка має бактерицидні властивості та яку вони використовують для заклеювання щілин у вулику, полірування стінок воскових комірок, бальзамування трупів ворогів (мишей, плазунів тощо) (ДСТУ 4662:2006, 2006). Прополіс використовують як інгредієнт у харчових продуктах, компонент фармацевтичних препаратів, у складі косметичних, ветеринарних препаратів та в інших засобах (Pahlavani et al., 2022; Mehmetoğlu et al., 2022).

Залежно від ботанічного джерела, географічного походження, хімічного складу (Porova et al., 2022) прополіс розділяють на такі типи: Aspen Type Propolis, Mediterranean Propolis, Poplar Type Propolis, Pacific Propolis Type, Brazilian Green Propolis, Brazilian Red Propolis, Mangifera Propolis Type.

У помірному кліматичному поясі, в якому знаходиться більша частина європейського континенту, основними джерелами прополісу є рослини роду *Poplar* sp. — *Populus nigra* L., *Populus salba* L., *Populus tremula* L. Важливим вторинним джерелами прополісу з незначною часткою у складі прополісу в помірному кліматі Європи є *Betula pendula* Roth, *Aesculus hippocastanum* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. (*Alnus acuminata* Kunth.), *Pinus* sp., *Salix alba* L. (Przybyłek, & Karpiński, 2019). Під час відкладання прополісу медоносні бджоли розріджують принесену рослинну смолу ферментами мандибулярних залоз. Розрідження прополісу також може впливати на швидкість його відкладання у гнізді та пристроях (Örösi-Pál, 1957; Dvykaliuk et al., 2022).

Mountford-McAuley et al. (2021) виокремлюють чинники, які впливають на прополісну продуктивність: наявність ботанічних джерел смоли, генетика медоносних бджіл, структура вуликів, наявність їжі у гнізді, фактори довкілля та хвороби.

Tsagkarakis et al., (2017) було проведено дослідження в Греції щодо продуктивності бджолиних сімей з відкладання прополісу в п'яти різних пристроях (пастках) протягом двох років. Модифікований вулик лангстрот із вставленою боковою алюмінієвою пластиною з отворами 450×4 мм з відстанню між ними 10 мм було порівняно із сіткою з отворами 1×1 мм, пластиковою решіткою для збору прополісу (3×16 мм), сіткою з комірками розміром 4×4 мм, сіткою 2×2 мм. За результатами дослідження науковці відзначають, що сітки 1×1 мм та 2×2 мм прополісувались бджолами найшвидше. У двох повторях сітки з комірками 2×2 мм були заповнені прополісом найшвидше. Найбільше прополісу зібрали сітки з отворами 1×1 мм (29,57±7,59 г), за ними йдуть сітки з отворами 2×2 (23,70±5,63 г) і комерційні решітки (15,62±4,05 г) без значних відмінностей між ними. Швидкість заповнення сіток 2×2 мм складає 20,5±0,5 доби (Tsagkarakis et al., 2017).

Saccardi et al. (2021) відзначають, що густина досліджуваного прополісу складає $0,953 \pm 0,001 \text{ г/см}^3$ ($N=3$). Твердість прополісу змінюється залежно від температури. За температури нижче 10°C прополіс твердий і крихкий, що дає змогу його розбивати або подрібнювати до порошку. За кімнатної температури прополіс в'язкий і липкий. Коли температура піднімається вище кімнатної, прополіс стає м'яким і липким. Порівняно з випробуваннями, проведеними за 23°C , для досягнення тієї ж деформації були необхідні в 4 рази більші напруження за 4°C . Крім того, за 40°C для тієї ж деформації напруження були приблизно в 10 разів нижчими, ніж за 23°C . Під час визначення міцності при стисненні ($20\ldots 800 \text{ кПа}$ та температурі $4\ldots 40^\circ\text{C}$) спостерігали в'язко-пластичну деформацію прополісу.

EVA є прозорим термопластичним сополімером мономерів етилену та вінілацетату (VA), в якому ланки VA випадковим чином розподілені по скелету етиленового полімеру. Вміст VA у загальнодоступному EVA коливається від 1 до 40 мас.%. Кристалічність, температура плавлення, жорсткість і полярність EVA визначаються переважно вмістом VA (Schneider et al., 2017). Усі сополімери EVA можна описати як міцні, порівняно низькомодульні матеріали. Жорсткість, або модуль пружності при вигині, в основному визначається кристалічністю. Завдяки низькому модулю пружності, низькій температурі розм'якшення та каучуковій природі, коли їх вміст VA перевищує ~ 5 мас.%, вироби, виготовлені з EVA, рідко виходять з ладу через ударні сили. Крім виняткових обставин, сополімери EVA забезпечують задовільну роботу при температурах до -40°C (Henderson, 1993).

Авторами пропонованої статті розроблено пристрій для очищення еластичних сіток, виготовлених з EVA. Пристрій складається з двох пар збірних валів, які обертаються один проти одного та забезпечують механічне згинання сіток, покритих прополісом. Сітки з прополісом охолоджують і вставляють у пристрій. Після згинання сіток прополіс осипається, а сітки зберігають свої технічні та фізичні властивості і можуть бути використані в подальшому (Dvykaliuk, & Adamchuk, 2021).

Мета дослідження: визначення продуктивності розробленого пристрою для збору прополісу за допомогою сіток EVA в умовах пасічних господарств різних регіонів України.

Матеріали і методи. Робота проводилась у рамках виконання дисертаційного дослідження на тему «Науково-технічне забезпечення процесу та обладнання виробництва прополісу» при кафедрі стандартизації та сертифікації сільськогосподарської продукції Національного університету біоресурсів і природокористування України» впродовж 2022—2023 років.

Обґрунтування вибору сіток. Проаналізовано асортимент засобів для збору прополісу, які доступні на ринку України. Опрацьовано та згруповано матеріали за критеріями: назва засобу, зовнішні розміри, продавець, ринкова вартість, вартість у розрахунку на 1 см^2 . Встановили, що на ринку України представлено 8 решіток, виконаних із пластмас, та 2 варіанти гнучких сіток.

За результатами аналізу засобів збору запропоновано використовувати еластичні сітки виробництва Stanz Press $200 \times 390 \text{ мм}$. Відповідно, сітка таких розмірів буде коштувати 71,79 грн за 1 штуку. Сітки більших розмірів використовувати, на нашу думку, недоцільно, оскільки значна частина її площі недоступна бджолам. Крім цього, сітки невеликих розмірів зручні у маніпулюванні та не вимагають

великих розмірів холодильного обладнання для їх охолодження перед очищенням.

Таблиця 1. Основний асортимент засобів для збору прополісу, представлених на ринку України

№	Назва засобу	Зовнішній розмір, мм	Продавець/постачальник
1.	Прополісозбірник (решітка)	140×250	https://parkplus.com.ua/
2.	Прополісозбірник секційний на 5 рамок (решітка)	185×470	https://parkplus.com.ua/
3.	Пластикова решітка для збору прополісу (решітка)	420×500	https://parkplus.com.ua/
4.	Прополісозбірник (решітка)	490×410	https://parkplus.com.ua/
5.	Прополісозбірник на 10-рамковий вулик (решітка)	495×410	https://parkplus.com.ua/
6.	Сітка для збору прополісу Stanz Press (сітка)	475×305	https://parkplus.com.ua/
7.	Сітка для збору прополісу	420×340	https://www.uley.in/
8.	Прополісозбірник пластиковий	125×470	https://smakmedu.com.ua/
9.	Решітка для збору прополісу	490×410	https://beecity.com.ua/
10.	Решітка для збору прополісу	190×470	https://bee-market.com.ua/

Примітка. Опрацьовано автором станом на 07.03.2023. Вартість засобів для збору прополісу, що реалізуються на ринку України, відповідає ціновому діапазону від 19,0 до 103,0 грн за одиницю. Відповідно, вартість засобів збору в перерахунку на м² в гривнях складає від 0,297 до 0,711 грн.

Постановка експерименту. На семи пасічницьких господарствах, що розміщені в Черкаській, Полтавській, Тернопільській, Хмельницькій, Житомирській областях, було відібрано бджолині сім'ї та сформовано сім дослідних груп (рис. 1). Таким чином вдалося задіяти господарства, які знаходилися поза межею ведення активних бойових дій. Власницями всіх пасічних господарств були жінки, представниці ГО «Фундація жінок-пасічниць».



Рис. 1. Територіальне розміщення пасічних господарств

Кожна група налічувала 10 бджолиних сімей. Усі сім'ї були підготовлені згідно із зоотехнічними методами досліджень для груп-аналогів, тобто вирівняні за кількістю розплоду, корму, системою утримання, комплектацією вуликів, віком маток, і розміщені на одному точку. Усі сім'ї були в робочому (не ройовому, без видимих ознак хвороб) стані. Схема дослідження наведена на рис. 2.



Рис. 2. Схема дослідження продуктивності пристрою в умовах пасічних господарств різних регіонів України

Для збору прополісу використовували спеціальні сітки (TM Stanz Pres) розміром 20×39 см, які розміщували над гніздом. Було апробовано 70 сіток. Календарний план маніпулювання сітками був загальним для всіх господарств (табл. 2).

Сітки у всіх господарствах розмістили з 15 червня 2022 року по 25 серпня 2022 року. Активний період збирання прополісу становив 70 днів. У подальшому сітки були зібрані та упаковані в поліетиленові пакети.

Таблиця 2. Календарний план маніпулювання сітками для збору прополісу

№	Вид робіт	Дата
1.	Розміщення у гнізді	15.06.2022
2.	Контрольний огляд 1	25.06.2022
3.	Планове зміщення 1	02.07.2022
4.	Контрольний огляд 2	12.07.2022
5.	Знімання та пакування	25.08.2022
6.	Надсилання	26—30.08.2022
7.	Зберігання сіток з прополісом у поліетиленових пакетах у приміщенні лабораторії	30.08.—20.10.2022
8.	Очищення на пристрої	20—27.10.2022

Спосіб маніпулювання сітками. 70 сіток було розміщено поверх очищених брусків рамок розплідної частини гнізда і накрито поліетиленовою плівкою. Гніздо (вулик) закривали як прийнято у пасічному господарстві — полотно, дошки. Під час огляду (не раніше, ніж через 10 днів) спочатку обережно відривали плівку від сітки, потім саму сітку. Всі дослідні сім'ї оглядали в один день. Після покриття прополісом сітки над вуличками гнізда здійснювали зміщення всіх сіток на один стільник. Так у бджіл з'являвся новий простір для прополісування. Після завершення прополісування одночасно на всіх пасічних господарствах дослід було завершено.

Оберти валів пристрою для очищення сіток вимірювали електронним тахометром ТМ Benetech, модель GM8905, версія GM8905-EN-02 ($\pm 0,1\%$ $n+5d$). Температуру в приміщенні та у холодильній камері вимірювали електричним термометром ТМ Hti, модель НТ-9815 (± 2 °C), з використанням термопар К-типу, серія GJ0478-1 ($\pm 2,5$ °C). Час фіксували електричним секундоміром із записом в електронний журнал результатів.

Для забезпечення стабілізації напруги в електромережі під час вимірювання обертів валів і швидкості втягування сітки використовували стабілізатор напруги LVT АСН-250 (Україна).

Масу прополісу визначали електронними вагами модель SF-400C ($\pm 0,1$ г). Кожну одиницю зважували тричі, застосовуючи тарування обнулінням показників електронних ваг. Статистичну обробку результатів виконували засобами Microsoft Excel.

Викладення основних результатів дослідження. У ході випробування було з'ясовано доцільність розміщування сіток для збору прополісу над розплідною частиною навпроти льотка. Це було зроблено для того, щоб запобігти контамінації отриманого прополісу воском, який бджоли можуть переносити в межах гнізда. Додаткові рекомендації щодо розміщення сіток: обов'язкове очищення верхніх брусків рамок старого прополісу і воску перед розміщенням; огляд бджолиних сімей, який передбачав зривання сіток, проводити не частіше ніж через 10 днів (за потреби).

Виробничі випробування пристрою для збору прополісу. Отримані сітки очищували групами по 10 сіток з кожного господарства. Пристрій розмістили на поверхні стола. Для вимірювання температури в приміщенні та в холодильній камері дві термопари розмістили в зоні розташування пристрою, а дві термопари — всередині холодильної камери в зоні розміщення сітки. Температурні показники термометра ТМ Нті записували в журнал.

Кожну сітку охолоджували протягом 60 хв з постійним контролем температури. Перед вийманням сіток із холодильної камери вмикали пристрій та розпочинали фіксацію часу на очищення сітки. Сітку вставляли у пристрій для очищення. Після очищення сітки пристрій вимикали та зупиняли фіксацію часу на очищення сітки. Процес очищення повторювали для кожної сітки. Після очищення сітки зразки прополісу зважували тричі, а отримані результати записували у журнал. Сітки до очищення та після очищення зважували для визначення кількості отриманого прополісу. Отриманий прополіс упаковували в поліетиленові пакети для зберігання та подальшого дослідження.

Результати вимірювання температури під час охолодження сіток перед очищенням наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Температурний режим очищення сіток з прополісом ($M \pm m$), $n=20$

№	Регіональне походження	Зовнішня, °C	Внутрішня, °C
1.	Черкаська область	20,69	5,15
2.	Полтавська область ¹	20,36	4,84
3.	Тернопільська область ¹	20,07	3,98
4.	Хмельницька область	19,60	5,83
5.	Житомирська область	18,84	6,06
6.	Тернопільська область ²	19,65	4,54
7.	Полтавська область ²	19,56	6,33

Примітка. 1 — Полтавська МТГ, Полтавський район, Полтавська область; Тернопільський район, Тернопільська область; 2 — Щербанівська СТГ, Полтавський район, Полтавська область; Підгасцький район, Тернопільська область.

За отриманими результатами визначили, що пристрій ефективно може бути використаний без необхідності охолоджувати сітки при низьких температурах на виробництві в природно-кліматичних умовах України.

Використання пристрою за визначеного температурного режиму $19,82 \pm 1,92$ °C створює комфортні умови роботи оператора. Крім цього, підвищується економічний ефект через зниження затрат на підтримання мікроклімату приміщень з низькими температурами. На нашу думку, відсутність необхідності охолодження сіток до низьких температур сприятиме пролонгації їх експлуатації.

Визначення та вимірювання параметрів продуктивності пристрою. Було визначено параметри продуктивності пристрою: кількість циклів, необхідних для очищення сітки, час, витрачений на очищення однієї сітки, час проходження однієї сітки через пристрій, масу прополісу, що налипає на вали, навантаження пристрою під час очищення; масу отриманого прополісу.

Встановили кількість циклів, необхідних для очищення сітки. Так, для очищення сіток незалежно від регіону використання сіток за встановлених температур достатньо одного циклу. Після очищення сіток можлива їх подальша експлуатація.

Визначили середній час, витрачений на очищення однієї сітки (табл. 4).

Таблиця 4. Порівняння часу, витраченого на очищення сітки, в розрізі регіонів і проходження сітки через вали

№ н/п	Регіональне походження	Час очищення, с	Збільшення часу, %, порівняно з порожньою сіткою
1.	Черкаська область	36,99	48
2.	Полтавська область ¹	47,74	66
3.	Тернопільська область ¹	50,25	70
4.	Хмельницька область	51,11	71
5.	Житомирська область	53,08	74
6.	Тернопільська область ²	50,98	71
7.	Полтавська область ²	49,46	68

Примітка. 1 — Полтавська МТП, Полтавський район, Полтавська область; Тернопільський район, Тернопільська область; 2 — Щербанівська СТП, Полтавський район, Полтавська область; Підгаєцький район, Тернопільська область.

За результатами вимірювання роботи пристрою встановили, що компактне його розміщення впливає на скорочення витрат часу на очищення однієї сітки. Швидкість обертання валів пристрою впливає на час проходження сітки через пристрій і час очищення сіток у загальному.

Встановлено, що за 8,38 с через пристрій проходить 39 см сітки, а оберти валів у середньому складають 48,51 об/хв. Тобто за 1 с ($48,51/60 \text{ об/с} \approx 0,8085 \text{ об/с}$) вали обертаються 0,8085 раза та проходять $39 \text{ см}/8,38 \text{ с} = 4,659 \text{ см/с}$. За весь витрачений час на проходження сітки вали обертаються 6,77 раза ($39 \text{ см}/4,659 \text{ см/об} \times (1/0,8085 \text{ об/с}) \approx 6,77$). За умови збільшення швидкості обертання валів, наприклад, на 5% від заданих ($48,51 \text{ об/хв} \times 1,05 \approx 50,88 \text{ об/хв}$), вали за 1 хв обертатимуться 50,88 раза. Таким чином, кількість очищених сіток за 1 хв збільшиться від 7,15 шт./хв до 7,51 шт./хв.

Наявність прополісу в сітках створює додаткове навантаження на пристрій, знижує кількість обертів валів і збільшує час очищення сітки. Час, витрачений на очищення однієї сітки, складається з часу проходження сітки через пристрій — 8,38 (n=4) с та часу, витраченого оператором на включення пристрою, діставання сітки з холодильної камери, розміщення сітки у направляючій частині пристрою, і залежить від його оперативності. Різниця в часі, затраченому на очищення сітки, та часі проходження сітки через вали у середньому складає 17,27%.

Встановили кількість отриманого прополісу новим методом в умовах господарств різних регіонів (табл. 5).

Найменше прополісу (118,23 г) було отримано в господарстві, розміщеному в Підгаєцькому районі Тернопільської області, а найбільше (180,74 г) в господарстві, розміщеному в Щербанівській СТГ (Полтавський район Полтавської області). Таким чином, різниця складає 65,41%. Середнє значення отриманого прополісу з 10 бджолосімей по Україні за 70 днів складає 151,21 г.

Таблиця 5. Маса прополісу, отриманого за 70 днів

Номер сітки	Маса отриманого прополісу в розрізі дослідних груп, г						
	А	Б	В	Г	Д	Е	Є
1	23,07	28,41	20,18	10,8	16,13	13,9	23,45
2	2,46	11,54	2,78	11,72	21,13	7,53	19,3
3	11,01	21,03	8,03	24,33	18,5	18,37	9,47
4	1,33	22,26	13,66	21,34	16,74	13,69	22,53
5	11,43	14,39	21,59	15,93	14,1	3,75	17,24
6	13,92	5,78	15,86	10,66	19,91	10,54	23,34
7	13,64	6,58	9,78	10,16	23,26	14,77	22,56
8	12,25	19,59	11,13	10,13	9,77	22,86	15,48
9	15,08	12,43	35,35	3,99	17,67	5,36	10,7
10	22,99	25,22	19,08	19,05	12,3	7,46	16,67
Всього по групі, г	127,18	167,23	157,44	138,11	169,51	118,23	180,74
$X \pm \Delta$	12,72 $\pm$ 2,26	16,72 $\pm$ 2,45	15,74 $\pm$ 2,86	13,81 $\pm$ 1,96	16,95 $\pm$ 1,30	11,82 $\pm$ 1,91	18,07 $\pm$ 1,62
Cv, %	56,23	46,30	57,52	44,89	24,16	51,00	28,33
Max	23,07	28,41	35,35	24,33	23,26	22,86	23,45
Min	1,33	5,78	2,78	3,99	9,77	3,75	9,47

Примітка. А — Черкаська область, Б — Полтавська область¹, В — Тернопільська область¹, Г — Хмельницька область, Д — Житомирська область, Е — Тернопільська область², Є — Полтавська область²; X — середнє значення; Δ — похибка вимірювання; Cv, % — коефіцієнт варіації; Max, Min — максимальнє і мінімальнє значення у групі.

Високі рівні варіації вказують на мінливість ознаки прополісопродуктивності в межах однакових природно-кліматичних і господарських ознак.

Під час цього дослідження розроблено інструкції з отримання прополісу на пасічникицьких господарствах. Для того, щоб зменшити перенесення воску медоносними бджолами з елементів гнізда в сітки, пасічникам слід очищувати верхні бруски рамок перед розміщенням сіток. Оскільки ми використовували сітки розміром 20×39 см, що не закривають усе гніздо, то, відповідно, для того, щоб уникнути потрапляння бджіл зі зворотної сторони сітки, було запропоновано накривати сітки поліетиленовою плівкою (Dvykaliuk, & Adamchuk, 2021). Крім цього, плівка слугує пакувальним матеріалом під час збору способом формування рулонів. Такий підхід мінімізує контамінацію сіток з прополісом під час їх збору й транспортування з точка в господарські приміщення. Візуальна оцінка сіток і форм утворень прополісу в їхніх отворах підтверджує необхідність нецільного її прилягання до плівки у процесі використання. В іншому випадку відкладання прополісу в отворах сітки формується бджолами неповноцінно, що впливає на загальну масу отриманого продукту (рис. 3).

Показники якості прополісу під час накопичення в сітці, зокрема повноцінність утворення грудочки, потребують подальшого дослідження.

Визначення ефективності роботи пристрою. За результатами проведених досліджень встановили, що пристрій придатний для очищення сіток з прополісом з різних географічних частин України. Пристрій не потребує додаткової підготовки до використання. Обслуговування пристрою пов'язане з очищенням валів після використання за необхідності. Періодичні очищення валів пристрою від прополісу залежить від типу прополісу й умов зовнішніх температур (табл. 6).

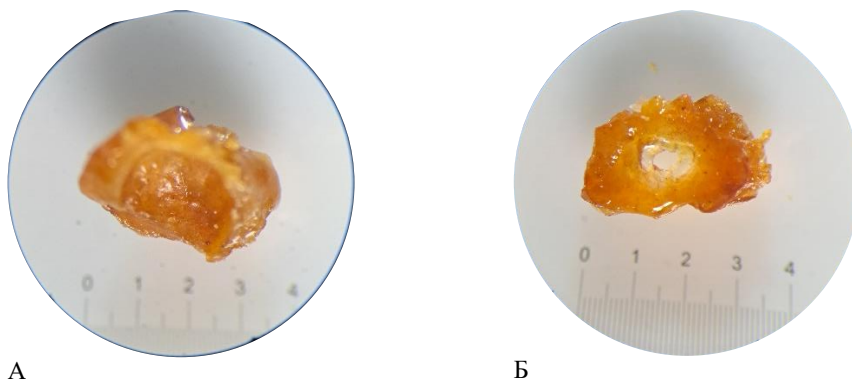


Рис. 3. Сформовані медоносними бджолами утворення з прополісу в отворах сітки (1 Div.=0,10 мм): А — повноцінно сформоване утворення прополісу в сітці; Б — неповноцінно сформоване (має отвір) утворення прополісу в сітці

Таблиця 6. Маса залишків прополісу на валах пристрою порівняно з кількістю отриманого прополісу з господарства

№ н/п	Регіональне походження	Маса прополісу, очищеного з валів пристрою, г	Маса прополісу, отриманого з господарства
1.	Черкаська область	12,40	127,18
2.	Полтавська область ¹	3,46	167,23
3.	Тернопільська область ¹	12,73	157,44
4.	Хмельницька область	5,89	138,11
5.	Житомирська область	6,41	169,51
6.	Тернопільська область ²	3,79	118,23
7.	Полтавська область ²	9,72	180,74

Примітка. 1 — Полтавська МТГ, Полтавський район, Полтавська область; Тернопільський район, Тернопільська область; 2 — Щербанівська СТГ, Полтавський район, Полтавська область; Підгаєцький район, Тернопільська область.

Залишки прополісу на валах не залежать від кількості отриманого прополісу. На об'єм прополісу, що залишається на валах, впливає тип прополісу та його фізико-хімічні характеристики (робота адгезії). У проведеному дослідженні очи-

щення валів від прополісу було зумовлене необхідністю запобігання потраплянню прополісу з одного регіону в зразки іншого. Також очищення валів під час досліду було необхідне для визначення кількості прополісу, який залишається на валах з різних регіонів. Відповідно, періодичність очищення валів у виробничих умовах визначається оператором у процесі експлуатації (табл. 5).

Продуктивність отримання прополісу розділяємо на дві основні складові: продуктивність отримання прополісу від бджолиних сімей і продуктивність очищення засобів збору прополісу. Розрахунок продуктивності пристрою здійснювався з урахуванням ефективності збору прополісу бджолиними сім'ями, які були залучені до досліду. Якщо за 70 днів (табл. 4) з однієї сітки з Черкаської області в середньому отримали 12,72 г прополісу, то за один день 0,18 г:

$$m_d = \frac{m_1}{t}, \quad (1)$$

де m_1 — маса прополісу, отриманого за час d з однієї сітки; t — кількість днів тривалості досліду; m_d — маса прополісу за один день з однієї сітки.

Оскільки на 10-рамковому вулику, враховуючи ширину сітки 20 см, можливо використовувати 2 сітки одночасно, то:

$$m_{d2} = 2m_d, \quad (2)$$

де m_{d2} — маса прополісу, отриманого з другої сітки за одну добу при використанні двох сіток одночасно; m_d — маса прополісу за один день з однієї сітки.

Масу прополісу, отриманого зі 100 бджолосімей за сезон тривалістю 86 календарних днів, розраховували за формулою:

$$m_R = \frac{m_{d2} T n}{1000}, \quad (3)$$

де m_R — маса прополісу, зібраного за сезон R з бджолосімей у кількості n ; m_{d2} — маса прополісу, отриманого з другої сітки за одну добу при використанні двох сіток одночасно; T — кількість днів, протягом яких триває сезон збору прополісу (у нашому розрахунку взято 86 днів); n — кількість бджолосімей, які задіяні у зборі прополісу (у нашому випадку 100).

Отже, в результаті обрахунків встановили, що для Черкаської області:

$$m_R = \frac{0,36 \cdot 86 \cdot 100}{1000} = 3,096 \text{ кг.}$$

Відповідні розрахунки провели для господарств усіх регіонів (табл. 7).

Таблиця 7. Розрахунок потенційної можливості отримання прополісу на пасічницькому господарстві

Маса прополісу	Регіональне розміщення дослідних груп						
	А	Б	В	Г	Д	Е	Є
З 1 сітки/добу, г	0,18	0,24	0,22	0,20	0,24	0,17	0,26
За 1 день з 1 вулика, г, (дві сітки)	0,36	0,48	0,45	0,39	0,48	0,34	0,52
Сезон (86 днів)	31,25	41,09	38,69	33,94	41,65	29,05	44,41

Продовження таблиці 7

У розрахунку на 100 бджолиних сімей за 1 сезон, кг, (дві сітки)	3,096	4,11	3,87	3,39	4,17	2,91	4,44
$\bar{X} \pm \Delta$ по Україні	3,72 $\pm$ 0,22						
C_v , % по Україні	15,62						

Примітка. А — Черкаська область, Б — Полтавська область¹, В — Тернопільська область¹, Г — Хмельницька область, Д — Житомирська область, Е — Тернопільська область², Є — Полтавська область². $\bar{X}$ — середнє значення; Δ — похибка вимірювання; C_v , % — коефіцієнт варіації.

Встановили, що у різних регіонах продуктивність збору прополісу запропонованим методом знаходиться у межах від 2,91 до 4,44 кг, що, ймовірно, зумовлено забезпеченням наявності його ресурсів у природі. У середньому продуктивність збору прополісу запропонованим методом становить 3,72 кг. Коефіцієнт варіації вказує на помірну мінливість ознаки.

Щоб визначити, як змінюються швидкість обертання валів під час очищення та як це впливає на продуктивність пристрою, здійснювали заміри обертів валів тахометром. Результати відображені у табл. 8.

Таблиця 8. Зменшення кількості обертання валів пристрою залежно від ступеня навантаження

№	Регіональне походження	% зниження обертів валів порівняно з холостим ходом*	Оберти валів при очищенні сіток з прополісом, хв**	% зниження обертів валів порівняно з охолодженою сіткою без прополісу*	Маса прополісу з 1 сітки**
1.	Черкаська область	34,6	48,51	20,65	12,72
2.	Полтавська область ¹	33,93	49,00	15,58	16,72
3.	Тернопільська область ¹	37,52	46,44	20,06	15,74
4.	Хмельницька область	32,96	49,69	14,45	13,81
5.	Житомирська область	36,31	47,21	10,02	16,95
6.	Тернопільська область ²	29,45	52,29	20,40	11,82
7.	Полтавська область ²	37,43	46,45	20,65	18,07

Примітка. А — Черкаська область, Б — Полтавська область¹, В — Тернопільська область¹, Г — Хмельницька область, Д — Житомирська область, Е — Тернопільська область², Є — Полтавська область²; * $n=4$; ** $n=10$.

Вали пристрою без сіток на холостому ході обертаються зі швидкістю 74,1 об/хв ($n=4$), а за умови проходження охолодженої (+5 °С, 60 хв) сітки без прополісу — 58,5 об/хв.

Наявність прополісу в сітці створює навантаження на пристрій порівняно з охолодженими сітками за тих же умов і складає різницю у 17,12%. В той же час маса зібраного прополісу залежить від наявності воску в зразку. Відомо, що віск є легшим, ніж прополіс, тому якщо повністю покрита сітка містить більше прополісу порівняно з воском, то при однаковій площі покриття сітки маса отриманого продукту буде різною. Склад воску сильно змінюється залежно від того, з якої частини бджолиного гнізда він відібраний. Густина воску становить 0,958...0,970 г/см³ при 15 °C (Gupta, & Anjali, 2023).

При вимірюванні часу, витраченого на очищення однієї сітки, було проведено розрахунок технічної можливості одного пристрою:

$$W = \frac{(c/t_a)L}{1000}, \quad (4)$$

де W — продуктивність пристрою з очищення сіток, м/хв; t_a — час, необхідний для проходження однієї сітки через вали пристрою; c — 60 секунд; L — довжина сітки, см.

Отже, продуктивність складає:

$$W = \frac{(60/8,38)39}{100} = 2,79, \text{ м/хв.}$$

Витрати часу на очищення однієї сітки слід розділити на дві складові. Перша — час, витрачений на проходження сітки через пристрій, складає в середньому 8,38 с. Тож пропускна можливість пристрою складає 2,79 м за 1 хв охолодженої сітки без прополісу. Середній час, витрачений на очищення сіток, складається з часу, витраченого на включення пристрою, переміщення сіток з камери до пристрою. Середнє значення часу складає 48,51 с на одну охолоджену сітку з прополісом. Витрати часу на 10 сіток — 8,085 хв, з яких проходження сіток — 1,39 хв. Оскільки робочий день відповідно до чинного трудового законодавства складає 8 год, то ми можемо розрахувати кількість сіток, які може очистити один оператор:

8-годинний робочий день — 1 година обідньої перерви = 7 годин.

40 хв — особисті потреби оператора (санітарія, гігієна, фізіологічні потреби людини).

Режим роботи пристрою, зважаючи на експериментальні результати експлуатації та виробничі умови (зовнішня температура, тип прополісу), потребує часу на охолодження 30 хв роботи — 15 хв охолодження в режимі роботи 24 °C. Час на очищення валів (за необхідності) від прополісу — 15 хв. Отже, один оператор за один робочий день може очистити 301 сітку за умови, що їх розміщення й охолодження розпочалось до початку робочої зміни. У разі охолодження очищуваних сіток під час поточної зміни їх кількість становитиме 227.

Враховуючи визначену продуктивність пристрою, для очищення 1000 сіток знадобиться 4,4 робочих днів. 1000 сіток можна розмістити на 500 вуликів. Наведені результати підтверджують високу продуктивність використання пристрою. За необхідності пришвидшення очищення сіток, зважаючи на технології ведення господарства, можливо використання двох та більше пристроїв одночасно.

Економічна ефективність. Вартість виготовлення пристрою залежить від витрат на комплектуючі, матеріали, доставку, оплату праці, комунальні послуги,

податки та збори. Для розрахунку економічної ефективності врахували вартість пристрою, яка склала 11446 грн. Вартість сіток у кількості 1000 шт. складає 71790 грн. Середня продуктивність отримання прополісу в Україні в цьому досліді в перерахунку на 1000 сіток складає 18,6 кг. Ринкова вартість прополісу в Україні станом на березень 2023 р. складає 1400 грн/кг.

Враховуючи середню вартість прополісу (1400 грн) та кількість отриманого прополісу 1 (8,6 кг з 1000 сіток), отримуємо 26040 грн.

Вартість пристрою та сіток (11446+71790 грн) складає 83236 грн. Вартість поліетиленової плівки складає 45 грн за 1 м/п. Для покриття 1000 сіток необхідно 52,63 м/п, що складає 2368,42 грн. Господарство може повернути інвестицію у збір прополісу після завершення трьох пасічних сезонів.

Важливим економічним показником є споживання електроенергії виробничим обладнанням. Пристрій під час роботи споживає в середньому 121,75 Вт ($n=4$) без навантаження, під час проходження сітки неохолодженою — 160,5 Вт ($n=4$), а під час охолодження сітки протягом 60 хв — 169,75 Вт ($n=4$). Отже, пристрій в активному режимі очищення протягом однієї зміни споживає 0,679 кВт/год з урахуванням режиму роботи, визначеного в цьому дослідженні. Затрати на електроенергію за вартості 1,44 грн за 1 кВт складатимуть 0,98 грн за одну зміну.

У результаті проведених випробувань були сформовані рекомендації щодо використання дослідженого методу отримання прополісу. Використання пристрою забезпечить механізацію процесу очищення сіток, що знизить собівартість продукту. Пристрій слід зберігати в чохлі, аби запобігти осіданню пилу на вали з часом. Пристрій слід розмішувати в доступній близькості до холодильної камери для того, щоб скоротити час на очищення однієї сітки. Перед охолодженням в камері сітки слід розправити. Рівні сітки зручно вставляти у пристрій, також це зменшує викришування прополісу поза пристроєм із сіток. Необхідність очищення валів пристрою слід візуально періодично перевіряти. Використання сіток EVA та пристрою сприяє можливості очищення сіток та їх повторному використанню в поточному році.

Висновки

Проведено науково-виробниче дослідження щодо збору прополісу новим методом у різних областях України. Пристрій для збору прополісу може бути використаний пасічними господарствами для очищення 227 сіток (розміром 20×39 см) за один робочий день. У різних регіонах продуктивність збору прополісу запропонованим методом знаходиться у межах від 2,91 до 4,44 кг (у розрахунку на 100 бджолосімей), що, ймовірно, зумовлено наявністю його ресурсів у природі. Заготівельникам слід звернути увагу на наявність рослинних джерел прополісу та вживати заходів, щодо їх збільшення. Охолодження сіток при +5 °С протягом 60 хв є оптимальним режимом для очищення сіток. Надано рекомендації щодо збору прополісу з урахуванням досвіду та результатів, отриманих під час дослідження. Збір високоякісного прополісу новим методом збільшить економічну ефективність пасічних господарств і забезпечить можливість диверсифікації прибутку. Отримання безпечної та якісної сировини прополісу дасть змогу збільшити обсяги його використання в харчовій промисловості.

Література

- Dvykaliuk, R. M. & Adamchuk, L. O. (2021). Development of a propolis collecting device. In *Animal Science and Food Technology*, 12, 3. <https://doi.org/10.31548/animal2021.03.007>.
- Dvykaliuk, R. M., Adamchuk, L. O., & Lisohurska, D. V. (2022). New factors influencing the propolis productivity of bee colonies. *Publishing House "Baltija Publishing"*, 85—87. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-238-8-20>.
- Gupta, G., & Anjali, K. (2023). Environmentally Friendly Beeswax: Properties, Composition, Adulteration, and its Therapeutic Benefits. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1110(1), 012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1110/1/012041>.
- Henderson, A. M. (1993). Ethylene-vinyl acetate (EVA) copolymers: a general review. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 9(1), 30—38. <https://doi.org/10.1109/57.249923>.
- Mehmetoğlu, S., Tarakçı, Z., & Çakıcı, N. (2022). Investigation of the Mineral and Heavy Metal Contents of Propolis Additive Ice Cream. *Bee Studies*, 14(1), 17—20. <http://doi.org/10.51458/BSTD.2022.23>.
- Milojković Opsenica, D., Ristivojević, P., Trifković, J., Vovk, I., Lušić, D., & Tešić, Ž. (2016). TLC fingerprinting and pattern recognition methods in the assessment of authenticity of poplar-type propolis. *Journal of chromatographic science*, 54(7), 1077—1083. <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmw024>.
- Mountford-McAuley, R., Prior, J., & Clavijo McCormick, A. (2021). Factors affecting propolis production. *Journal of Apicultural Research*, 1—9. <https://doi.org/10.1080/00218839.2021.1938456>.
- Örösi-Pál, Z. (1957). The role of the mandibular glands of the honeybee. *Bee World*, 38(3), 70—73. <https://doi.org/10.1080/0005772X.1957.11094979>.
- Pahlavani, N., Malekahmadi, M., & Sedaghat, A. [et al.]. (2022). Effects of Melatonin and Propolis Supplementation on Inflammation, Oxidative Stress, and Clinical Outcomes in Patients with Primary Pneumosepsis: A Randomized Controlled Clinical Trial. *Complementary Medicine Research*, 4(29), 275—285. <https://doi.org/10.1159/000523766>.
- Popova, M., Trusheva, B., & Bankova, V. (2022). Chemistry and Applications of Propolis. In Murthy, H. N. (eds.), *Gums, Resins and Latexes of Plant Origin. Reference Series in Phytochemistry. Springer, Cham*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91378-6_38.
- Przybyłek, I., & Karpiński, T. M. (2019). Antibacterial properties of propolis. *Molecules*, 24(11), 2047. <https://doi.org/10.3390/molecules24112047>.
- Saccardi, L., Schiebl, J., Weber, K., Schwarz, O., Gorb, S., & Kovalev, A. (2021). Adhesive behavior of propolis on different substrates. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 7, 660517. <https://doi.org/10.3389/fmech.2021.660517>.
- Schneider, C., Langer, R., Loveday, D., & Hair, D. (2017). Applications of ethylene vinyl acetate copolymers (EVA) in drug delivery systems. *Journal of Controlled Release*, 262, 284—295. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2017.08.004>.
- Tsagkarakis, A. E., Katsikogianni, T., Gardikis, K., Katsenios, I., Spanidi, E., & Balotis, G. N. (2017). Comparison of Traps Collecting Propolis by Honey Bees. *Advances in Entomology*, 5(02), 68. <https://doi.org/10.4236/ae.2017.52006>.
- Warakomska, Z., & Maciejewicz, W. (1992). Microscopic analysis of propolis from Polish regions. *Apidologie*, 23(4), 277—283. <https://doi.org/10.1051/apido:19920401>.

RHEOLOGICAL PROPERTIES AND RETROGRADATION OF NATIVE AND MODIFIED STARCH SAMPLES

M. Buzhanska, A. Pushak

Lviv University of Trade and Economics

Key words:

*Hydrocolloids
Modified starch
Oxidized starch
Food additives
Retrogradation
Viscosity
Syneresis
Destruction of starch
Time constants of decay
processes*

Article history:

Received 06.03.2023
Received in revised form
23.03.2023
Accepted 04.04.2023

Corresponding author:

M. Buzhanska
E-mail:
buganskam@ukr.net

ABSTRACT

The article updates the issues of using samples of native and oxidized starches in the technology of manufacturing food products with the aim of extending the shelf life, improving the taste and aromatic properties of the product, and its quality. The relevance of the chosen topic is due to the need to justify the conditions for ensuring the colloidal stability of food systems. The properties and possibility of using native as well as modified oxidized potato and corn starches in food technologies are considered. The presented results make it possible to solve the problems of ensuring the aggregative stability of viscous-fluid systems by introducing stabilizers-thickeners.

The authors conducted a comparative analysis of the retrogradation ability of corn and potato starch and their modified samples. The work, based on the analysis of literary sources and the results of the research, shows the advantages of introducing modified starches into the product composition. The presented results of viscometric studies of popular commercial food starches predict the possibility of use, features and determine the practical value of oxidized starches in the development of recipes for food products and expand the range of their use. Experimental data reasonably show that the introduction of modified starches into the recipe slows down the processes of retrogradation of the food system, and the values have a favorable effect on the colloidal stability of food systems. The viscometric method was used to analyze hydrocolloid dispersions. To assess the time characteristics, namely, to find the time constant of starch retrogradation processes, mathematical processing of the experimental data was carried out using the Origin 7.5 program. The obtained data on the application of the investigated hydrocolloids in food products as thickeners allow to predict their prospects for prolonging the storage time of food products.

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА РЕТРОГРАДАЦІЯ ВЗІРЦІВ НАТИВНОГО ТА МОДИФІКОВАНОГО КРОХМАЛЮ

М. В. Бужанська, А. С. Пушак

Львівський торговельно-економічний університет

Публікація актуалізує питання використання взірців нативних та окиснених крохмалів у технології виготовлення харчових продуктів з метою подовження терміну зберігання, покращення смако-ароматичних властивостей продукту, підвищення якості. Актуальність обраної теми обумовлена необхідністю обґрунтування умов забезпечення колоїдної стійкості харчових систем. Розглянуто властивості і можливість використання нативних крохмалів картоплі та кукурудзи, а також крохмалів модифікованих окиснених картопляного та кукурудзяного у харчових технологіях. Приведені результати дають змогу вирішити проблеми забезпечення агрегативної стійкості в'язко-текучих систем шляхом введення стабілізаторів-загусників.

Проведено порівняльний аналіз здатності до ретроградації кукурудзяного та картопляного крохмалю та їхніх модифікованих зразків. На основі аналізу літературних джерел і результатів власних досліджень показано переваги використання в складі продукту модифікованих крохмалів. Приведені результати віскозиметричних досліджень популярних комерційних харчових крохмалів прогнозують можливість використання, особливості та визначають практичне значення окиснених крохмалів при розробці рецептур харчових виробів та розширюють спектр їхнього застосування. Експериментальні дані обґрунтовано показують, що введення в рецептуру модифікованих крохмалів призводить до сповільнення процесів ретроградації харчової системи, а значення сприятливо впливають на колоїдну стабільність харчових систем. Для аналізу дисперсій гідроколоїдів використано віскозиметричний метод. Для оцінки часових характеристик, зокрема знаходження постійної часу процесів ретроградації крохмалю, було проведено математичне опрацювання експериментальних даних, використовуючи програму Origin 7.5. Отриманні дані щодо застосування досліджуваних гідроколоїдів у харчових продуктах як загущувачів дають змогу прогнозувати їх перспективність для подовження зберігання продукції харчових виробництв.

Ключові слова: гідроколоїди, модифікований крохмаль, окиснений крохмаль, харчові добавки, ретроградація, в'язкість, синерезис, деструкція крохмалю, постійна часу процесів розпаду.

Постановка проблеми. У харчовій промисловості використовують різні види натуральних загусників, серед них крохмаль та його похідні. Загущувачі покращують і зберігають структуру харчового продукту, дають змогу отримувати продукти потрібної консистенції, позитивно впливають на смакове сприйняття. Завдяки властивості збільшувати в'язкість водних середовищ загусники стабілізують дисперсні системи: суспензії, емульсії та піни. Однак нативний крохмаль доволі чутливий до температурних впливів і нестійкий при тривалому зберіганні,

нерозчинний у холодній воді. Відомо, що крохмалевмісні продукти мають характерний недолік: при зниженні температури або при тривалому зберіганні крохмального клейстеру (розчину) відбувається ретроградація, що виявляється в частковій кристалізації та агрегуванні амілозної фракції, її випаданні з розчину у вигляді дрібнодисперсного гранульованого осаду. При цьому відбувається синерезис клейстеру — самовільне зменшення його об'єму, що супроводжується відокремленням води, — процес, зворотний набряканню. Результатом процесу ретроградації є поступове помутніння розчину. Якщо концентрація амілозної фракції висока, то крохмальний клейстер перетворюється в непрозорий стійкий гель.

Зазвичай, процеси кристалізації й агрегування амілозної фракції, відбуваються за експоненційним законом, а отже, цей закон і визначає залежність динамічної в'язкості крохмалевого розчину від часу. В першому наближенні такий закон можна записати у вигляді: $\eta = \eta_0 \cdot e^{-t/\tau}$, де η_0 — початкова динамічна в'язкість, τ — постійна часу процесів ретроградації, тобто це час, протягом якого в'язкість зменшується в e раз. Відомості про постійну часу процесів ретроградації дають змогу оцінити вплив різних факторів на процес ретроградації, тому такий часовий параметр є важливим показником у дослідженні якості харчової продукції.

Ретроградація підсилюється за низьких значень рН і температури, за присутності певних катіонів (наприклад, кальцію чи алюмінію) (Qing, Baodong, Yi, & Hongliang, 2021). Саме тому сучасні технології виробництва харчових продуктів використовують модифіковані крохмалі. Властивості загусників, особливо нейтральних полісахаридів, можна змінювати шляхом хімічної модифікації (Junqueira et al., 2018; Vanier, El Halal, & Dias, 2017). Шляхом модифікації можна досягти таких властивостей у крохмалів: зниження або підвищення температури клейстеризації; зниження чи підвищення в'язкості; підвищення розчинності в холодній воді; зниження схильності до ретроградації; стійкості до синерезису; стійкості до кислот; стійкості до високих температур; стійкості до циклів розморожування. У практичній роботі суттєвою фізико-хімічною характеристикою гідроколоїдів є в'язкість водних розчинів, що важливо для їх застосування, зокрема для досягнення оптимальних характеристик продукту. Віскозиметричні дослідження дають змогу також визначити молекулярну масу біополімеру, яка свідчить про ступінь ретроградації продукту.

Аналіз експериментальних даних, нові розробки і творче використання інгредієнтів і добавок дасть змогу виробникам управляти процесами попиту та пропозиції кулінарної продукції в закладах галузі (Junqueira, et al., 2018; Khalil et al., 2018; Manoli, Nikitchina, & Barysheva, 2021).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ретроградація — перехід крохмальних полісахаридів з розчинного стану в нерозчинний за рахунок утворення водневих зв'язків шляхом з'єднання молекулярних ланцюгів в агрегати. При цьому фізично зв'язана з полісахаридами вода витісняється з клейстеру, внаслідок чого вироби стають жорсткішими. Наприклад, у харчових продуктах, до складу яких входить крохмаль, передусім хлібобулочних, під час зберігання спостерігається черствіння, яке пов'язане з асоціацією амілозних молекул. Ретроградація посилюється під час заморожування виробів і різко погіршує якість продуктів, що пройшли теплову обробку. Неодноразове заморожування і відтавання призводять

до повної і незворотної ретроградації полісахаридів і, як наслідок, різкого погіршення якості виробів.

Пояснити ретроградацію можна нестійкістю клейстерів полісахаридів у розчині, особливо амілози. Якщо ретроградація відбувається без видимого утворення осаду, то амілоза водневими зв'язками з'єднується з амілопектином. Такий процес є оберненим. Якщо ж процес відбувається як самоагрегація амілози, то утворюються нерозчинні комплекси. Ретроградація амілози перебігає в декілька стадій: спочатку довільно скручені спіралі амілозних ланцюгів витягуються, після чого вони втрачають гідратну оболонку і розташовуються (орієнтуються) одна біля одної. Між гідроксильними групами, розташованими на близькій відстані, утворюються водневі зв'язки, енергія яких покриває витрати енергії на дві попередні стадії. Утворення великої кількості таких зв'язків між молекулами призводить до опалесценції розчину, а потім до утворення видимих пластівців. Розчини амілопектину ретроградують значно повільніше, ніж амілози. Ретроградація амілози, зазвичай, закінчується через декілька годин після процесу клейстеризації (Funami, et al., 2005), найвища швидкість ретроградації спостерігається в молекулах амілози з низькою молекулярною масою (Ishiguro et al., 2000). Через високу температуру плавлення кристалів амілози (понад 100 °C) за звичайних умов — необоротний процес. У свою чергу, довгострокова ретроградація пов'язана з перекристалізацією розгалужених ланцюгів амілопектину. Це відбувається набагато повільніше, ніж ретроградація амілози (до кількох тижнів) (Funam et al., 2005) і є термічно оборотним. Молекули амілопектину розгалуженої форми малої та середньої довжини внутрішніх розгалужень ланцюгів, які беруть участь у формуванні кристалів під час ретроградації, проходять цей процес повільніше, ніж молекули з більшою довжиною ланцюга (Parker, & Ring, 2001).

Зазвичай, ретроградація є небажаним процесом, оскільки вона призводить до погіршення властивостей продуктів, що містять крохмаль, наприклад консистенція або ступінь помутніння паст і гелів. Крім того, утворення кристалів амілози й амілопектину сприяє поступовому збільшенню жорсткості гелю та їх синерезису (Lewen et al., 2003; Pietrzyk, 2010). Ретроградація також може бути корисним явищем, оскільки вона призводить до формування резистентного крохмалю, а це один із компонентів харчових волокон (Fuentes-Zaragoza et al., 2010). У результаті ретроградації амілози, яка відбувається під час охолодження клейстеризованого крохмалю, утворюється фракція крохмалю, стійка до дії амілаз, яка називається RS3-резистентним крохмалем (Fuentes-Zaragoza et al., 2010). Підвищити стабільність харчових продуктів, що містять крохмаль, можна за допомогою модифікованих крохмалів (Sitkiewicz, & Denoch, 2006).

При аналізі процесів ретроградації важливими характеристиками є молекулярна маса та в'язкість розчинів біополімерів, які пов'язані певними співвідношеннями між собою (Ishiguro, et al., 2000). Саме тому протягом останніх десятиліть дослідження в'язкості розчинів біополімерів були предметом ретельного вивчення, проте природа фізико-хімічних особливостей колоїдних дисперсій крохмалю та крохмалепродуктів не може вважатись достатньо вивченою. Тому дослідження в цьому напрямку можна вважати актуальними як з теоретичної, так і з практичної точки зору.

Мета дослідження: обчислення та порівняння в'язкості колоїдних дисперсій зразків нативного крохмалю та модифікованих продуктів, а також знаходження часових характеристик процесів ретроградації картопляного та кукурудзяного крохмалів, що є основою наукового обґрунтування використання їх рецептурним компонентом для удосконалення технологічних процесів виготовлення та зберігання харчових продуктів.

Матеріали і методи. Явище ретроградації крохмалю можна вивчати різними методами, в основі яких лежить зміна фізичних і хімічних властивостей крохмальних систем або харчових продуктів на основі крохмалю, які відбуваються під час їх старіння (Dobosz, Sikora, & Krystyan, 2014).

Для дослідження використано нативні крохмалі картоплі ТМ «Сто пудів» (ДСТУ 4286:2004) та кукурудзи ТМ «Август» (ДСТУ 3976:2000), а також крохмаль модифікований картопляний окиснений NISTATYL CH 31105 (E1404), крохмаль модифікований кукурудзяний окиснений Gelix C15 (E1404) виробництва ЗМЖК «Ювілейний» (ДСТУ 4380:2005). Віскозиметричним методом визначали залежність в'язкості розведених розчинів біополімерів від їхньої молекулярної маси в часі. Дослідження проводили віскозиметричним методом за допомогою приладу ВПЖ-1 (діаметр капіляра 1,52 мм), який термостатували при температурі 20 °С 15 хвилин. Вимірювання в'язкості віскозиметром полягає у визначенні часу, за який певний об'єм рідини витікає з капіляра під впливом сили тяжіння. Досліджувалася в'язкість водних дисперсій з концентрацією крохмальних клейстерів 2%. Обраний вміст відповідає концентраціям, в яких крохмаль, як правило, вводять до харчових систем. Для визначення молекулярної маси використовували рівняння Марка–Куна–Хауїнка: $[\eta] = K \times M^{\alpha}$, де K й α — константи. Для цієї системи полімер-розчинник, зокрема крохмаль–вода, константи мають такі значення: $K = 1,32 \times 10^{-4}$; $\alpha = 0,68$. Для знаходження часових характеристик процесів ретроградації було використано програму Origin 7.5.

Викладення основних результатів дослідження. Науковці різних країн наполегливо працюють над вивченням властивостей полісахаридів, що спонукає до широкого використання цих речовин. Серед біополімерів велика увага приділяється крохмалю, бо він є практично невичерпною базою сировини та конкурентоспроможний у ціні. Однак крохмаль, незважаючи на свої позитивні якості, має і суттєвий недолік — продукти на його основі з часом, через ретроградацію, значно змінюють свої властивості й термін придатності. Важливою хімічною властивістю, значимою в харчовій промисловості, є в'язкість розчинів, адже у харчовій промисловості крохмаль та його похідні використовують як натуральні загусники.

Завдяки особливостям своєї структури та численним полярним групам, особливо гідроксильним, загусники, додані до харчового продукту, вступають у взаємодію з присутньою в ньому водою. Полярні молекули води розташовуються при цьому навколо полярних груп загусника. Завдяки сольватації, яка часто супроводжується розкручуванням молекулярних ланцюгів, рухливість молекул води обмежується, а в'язкість розчину зростає. Макромолекули, які при набряканні частково або повністю переходять у витягнутий стан, найбільше збільшують в'язкість, оскільки гідродинамічний опір довгих витягнутих полімерних ланцюгів є найбільшим. В'язкість зростає експоненційно зі збільшенням довжини ланцюга.

Збільшення ступеня розгалуження молекули гідроколоїду призводить до зменшення в'язкості, якщо розташування бічних ланцюгів заважає зв'язуванню молекул води. Якщо ж полярні та неполярні групи розташовані переважно на кінцях ланцюга, це сприяє зв'язуванню води та зростанню в'язкості. Для макромолекул з високим ступенем розгалуження досягнення високої в'язкості можливе лише для концентрованих розчинів. Властивості загусників, особливо нейтральних полісахаридів, можна змінювати шляхом хімічної модифікації: введенням у молекулу нейтральних або іонних замісників. Яскравим прикладом цього є крохмалі: нативні та модифіковані. Шляхом модифікації можна досягти таких властивостей у крохмалів: зниження чи підвищення в'язкості; зниження схильності до ретроградації; стійкості до синерезису; стійкості до циклів розморожування.

Важлива особливість розведених розчинів полімерів полягає в тому, що їх в'язкість значно більша порівняно з чистим розчинником і нелінійно залежить від концентрації розчину. В'язкість розчинів високомолекулярних сполук, зазвичай, тим більша, чим вища концентрація розчину. Розведені розчини високомолекулярних сполук слід розглядати як термодинамічно стійкі (однофазні) системи, що є істинними розчинами речовин з великою молекулярною масою. Розведеними вважають розчини з такими концентраціями, при яких молекули розчиненої речовини практично не взаємодіють між собою. З огляду на великий розмір макромолекул полімеру, зрозуміло, що ця концентрація повинна бути дуже малою, і вона тим менша, чим більшою є молекулярна маса полімеру. Авторами статті приведені експериментальні результати в'язкості водних клейстерів з концентрацією 2%. Досліджуваний вміст відповідає концентраціям, в яких крохмалі, зазвичай, вносять у склад харчових продуктів.

Досліджувані гідроколоїди як загущувачі харчових продуктів формують структуру гелю різної міцності, дають змогу отримувати продукти бажаної консистенції (Teimouri, Abbasi, & Scanlon, 2018). Саме тому важливими є дослідження в'язкості водних розчинів гідроколоїдів. В'язкість розчинів гідроколоїдів залежить від розміру і форми їх молекул та конформацій у розчиннику. На основі отриманих експериментальних результатів розраховано основні характеристики в'язкості крохмальних клейстерів досліджуваних зразків (табл. 1). Питома в'язкість показує відносне збільшення в'язкості чистого розчинника при додаванні до нього полімеру. Приведена в'язкість $\eta_{прив}$ є відношенням питомої в'язкості до концентрації розчину $\eta_{прив}/C$. За допомогою екстраполяції одержаних експериментальних даних щодо приведеної в'язкості на вісь ординат визначали характеристичну в'язкість $[\eta]$ розчинів крохмалю. У свою чергу, $[\eta]$ пов'язана з молекулярною масою полімерних речовин за рівнянням Марка–Куна–Хаувінка.

Під час виконання роботи визначено відносну, динамічну та характеристичну в'язкість клейстерів крохмалів (табл. 1). Встановлено, що найменшу початкову динамічну в'язкість за температури 20 °C має клейстер крохмалю модифікованого кукурудзяного Gelix C15, яка рівна $0,83 \times 10^{-4}$. Таке значення пов'язуємо з його структурою. Значення молекулярної маси становить 1155. Результатом окиснення є утворення крохмалю з короткими молекулярними ланцюгами. Динамічна в'язкість для зразків крохмалю картопляного ТМ «Сто пудів», крохмалю кукурудзяного ТМ «Август» рівні, відповідно, 44×10^{-4} , $6,25 \times 10^{-4}$. Чітко прослідковується

закономірність: в'язкість розчинів біополімерів із більшою молекулярною масою вища за в'язкість розчинів, що складаються з компактних молекул.

Таблиця 1. Результати дослідження в'язкості водних дисперсій зразків крохмалю за температури 20 °С

Час зберігання, год	Відносна в'язкість	Динамічна в'язкість, $\eta \times 10^{-4}$, Па·с	Питома в'язкість, $\eta_{\text{пит}}$	Приведена в'язкість, $\eta_{\text{прив}}$	Характеристична в'язкість, $[\eta]$	Молекулярна маса
Крохмаль картопляний ТМ «Сто пудів», Е1400						
0	400,5	44,00	2,2	1,1	0,482	173 352
0,23	349,27	38,42	1,93	0,97	0,425	152 852
0,44	311,21	34,19	1,71	0,86	0,377	135 589
0,68	268,69	29,52	1,48	0,74	0,324	116 528
0,85	230,47	25,32	1,27	0,64	0,280	100 702
1,12	194,15	21,33	1,07	0,54	0,237	85 237
1,36	169,03	18,57	0,93	0,47	0,206	74 089
1,57	140,63	15,45	0,78	0,39	0,171	61 500
1,92	113,14	12,43	0,62	0,31	0,136	48 913
2,25	89,03	9,78	0,49	0,25	0,109	39 202
3,0	62,3	6,0	0,30	0,15	0,134	26 385
4,65	19,13	3,20	0,16	0,08	0,035	12 588
7,0	22,76	2,5	0,125	0,0625	0,046	5477
11,0	26,7	2,0	0,1	0,05	0,034	3512
20,0	15,58	1,75	0,088	0,044	0,028	2640
33,0	24,475	1,75	0,088	0,044	0,028	2640
45,0	24,475	1,75	0,088	0,044	0,028	2640
57,0	24,12	1,72	0,086	0,043	0,027	2502
81,0	23,21	1,61	0,080	0,043	0,024	2104
Крохмаль кукурудзяний ТМ «Август», Е1400						
0	64,53	6,25	0,313	0,156	0,137	27259
0,13	61,43	5,95	0,297	0,148	0,129	25 667
0,39	56,69	5,49	0,275	0,137	0,120	23 876
0,59	52,56	5,09	0,255	0,127	0,112	22 284
1,039	46,36	4,49	0,225	0,112	0,098	19 499
1,49	41,20	3,99	0,199	0,099	0,086	17 111
2,01	36,65	3,55	0,178	0,089	0,078	15 519
3,0	35,60	3,0	0,15	0,075	0,058	11 541
3,38	27,26	2,64	0,132	0,065	0,057	11 341
4,29	22,41	2,17	0,108	0,053	0,047	9 351
4,74	20,23	1,96	0,098	0,049	0,043	8 555
5,90	17,139	1,66	0,083	0,042	0,037	7 362
7,0	20,025	1,25	0,0625	0,031	0,028	3581
8,7	20,00	1,28	0,064	0,032	0,028	3581
11,0	19,135	1,15	0,0575	0,029	0,0113	695
20,0	19,135	1,15	0,0575	0,029	0,0113	695
33,0	19,135	1,15	0,0575	0,029	0,0113	695
45,0	19,135	1,15	0,0575	0,029	0,0113	695
57,0	18,69	1,1	0,055	0,027	0,01	580
81,0	17,8	1,0	0,05	0,025	0,007	343

Крохмаль модифікований картопляний NISTATYL CH 31105, E1404						
0	23,81	1,68	0,084	0,042	0,0272	2528
1,29	21,12	1,49	0,075	0,038	0,0246	2 286
1,57	21,12	1,49	0,075	0,038	0,0246	2 286
3,0	20,03	1,25	0,063	0,032	0,0228	1951
4,48	20,03	1,25	0,063	0,032	0,0228	1951
5,90	20,03	1,25	0,063	0,032	0,0228	1951
7,0	20,03	1,25	0,063	0,032	0,0228	1951
11,0	20,03	1,25	0,063	0,032	0,0228	1951
20,0	18,63	1,09	0,054	0,027	0,0209	1717
33,0	18,47	1,08	0,054	0,027	0,0209	1717
45,0	18,47	1,08	0,054	0,027	0,0209	1717
57,0	16,25	0,83	0,042	0,021	0,0209	1717
81,0	14,28	0,61	0,030	0,015	0,005	210
Крохмаль модифікований кукурудзяний Gelix C15, E1404						
0	16,29	0,83	0,042	0,021	0,015	1155
1,29	15,99	0,80	0,039	0,0195	0,0147	1135
1,57	15,99	0,80	0,039	0,0195	0,0147	1135
3,0	15,99	0,80	0,039	0,0195	0,0147	1135
4,48	15,99	0,80	0,039	0,0195	0,0147	1135
5,90	15,99	0,80	0,039	0,0195	0,0147	1135
7,0	15,99	0,80	0,039	0,0195	0,0147	1135
11,0	15,99	0,80	0,039	0,0195	0,0147	1135
20,0	15,99	0,80	0,039	0,0195	0,0147	1135
33,0	15,99	0,80	0,039	0,0195	0,0147	1135
45,0	15,99	0,80	0,039	0,0195	0,0147	1135
57,0	15,99	0,80	0,039	0,0195	0,0147	1135
81,0	15,99	0,80	0,039	0,0195	0,0147	1135

Дослідження в'язкості картопляного і кукурудзяного крохмального клейстеру (рис. 1, 2, 3) свідчить про те, що вони в процесі зберігання піддаються ретроградації. Причому сильніше ретроградація відбувається в клейстері картопляного нативного крохмалю, що описується кривою 1 експоненційного характеру. Ретроградація йде практично слідом за клейстеризацією і починається за температури 70...80 °С. Ретроградація посилюється, якщо зберігати вироби за кімнатної температури. Найбільш інтенсивно цей процес проходить в перші дві години після моменту виготовлення. Надалі процес сповільнюється (рис. 1). У (Ishiguro et al., 2000) встановлено, що при зберіганні крохмального клейстеру відбувається зміцнення структури амілопектину з виділенням частини зв'язаної води, вивільнення амілози, що впливає на в'язкість крохмального клейстеру.

Окиснені крохмалі є підгрупою розщеплених крохмалів. Окисники призводять до гідролітичного розщеплення глікозидних зв'язків, окиснення спиртових груп у карбонільні і карбоксильні. Такі крохмалепродукти відрізняються від нативних крохмалів зниженою молекулярною масою (табл. 1) полісахаридів і появою в елементарних ланках нових функціональних груп — карбонільних і карбоксильних. Нижчі значення молекулярної маси порівняно з нативними крохмалюми

(табл. 1) надає окисненим крохмалю можливість утворювати клейстер низької в'язкості, особливо при високій температурі, тому ці крохмалепродукти називають «рідкокиплячими».

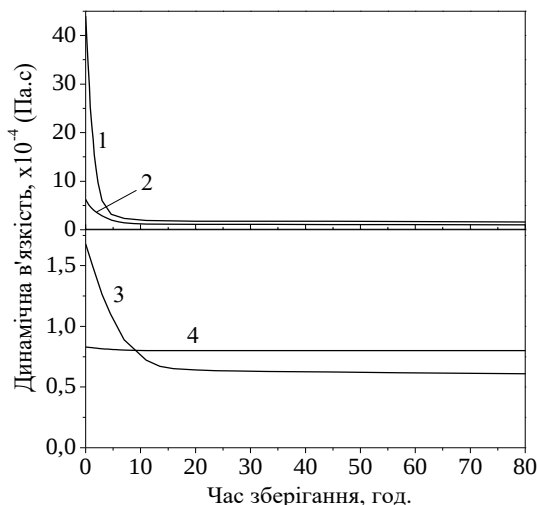


Рис. 1. Залежність динамічної в'язкості крохмальних клейстерів від часу зберігання:

1 — крива динамічної в'язкості клейстерів крохмалю картопляного ТМ «Сто пудів»; 2 — крива динамічної в'язкості для клейстерів крохмалю кукурудзяного ТМ «Август»; 3 — крива динамічної в'язкості для клейстерів крохмалю модифікованого, картопляного NISTATYL SN 31105, E1404; 4 — крива динамічної в'язкості для клейстерів крохмалю модифікованого, кукурудзяного Gelix C15, E1404

Основними показниками, що характеризують якість окиснених крохмалів, є міцність крохмального, плинність або в'язкість клейстеру, желуюча здатність. Клейстери розщеплених крохмалів мають, як правило, знижену в'язкість, більш високу прозорість і підвищену стабільність при зберіганні — це визначає їх широке застосування в харчовій промисловості. Їх використовують як заміники агару, агароїду у виробництві желейних кондитерських виробів, для стабілізації морозива.

Характерною властивістю крохмальних клейстерів є синерезис. Із часом кількість зв'язків між полімерними ланцюгами в дисперсіях збільшується. Структурна сітка гелю стискається і з нього виділяється частина розчинника, що містить незначну кількість розчиненого полімеру. На процес старіння гелю впливає процес гідролізу. В міру старіння гелю (втрата гідрофільних властивостей при поступовому кислотному гідролізі) посилюється відділення рідини.

На рис. 2 в логарифмічній шкалі криві наведено залежності динамічної в'язкості від часу для картопляного та картопляного модифікованого крохмалю. Представлення відповідних кривих у логарифмічній шкалі дає змогу візуально оцінити характер часової залежності динамічної в'язкості. Як видно з рис. 2, криві характеризуються домінуючою однокомпонентною експоненційною залежністю. Математичний аналіз кривих залежності динамічної в'язкості від часу надає можливість визначити відповідні постійні часу процесів ретроградації крохмалю. Постійні часу процесів ретроградації становлять 1, 3 та 4,5 год для картопляного і картопляного модифіковано крохмалів відповідно. Як видно з одержаних даних,

картопляний модифікований крохмаль характеризується більшим значення постійної часу процесів ретроградації порівняно зі звичайним картопляним крохмалем, що надає перевагу на його використання у харчовій промисловості.

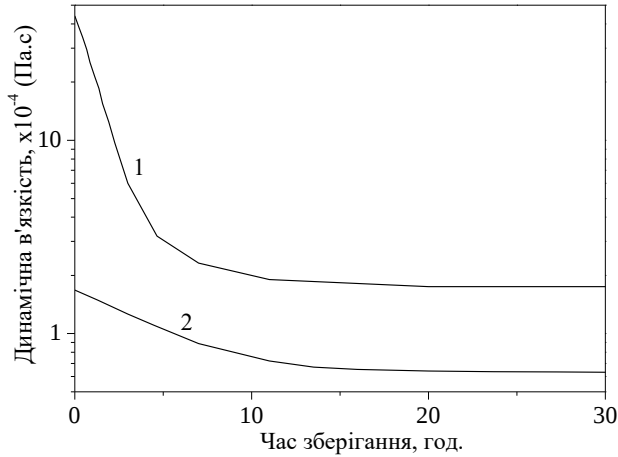


Рис. 2. Криві залежності динамічної в'язкості зразків нативного та окисненого картопляних крохмалів від часу зберігання: 1 — крива динамічної в'язкості дисперсій крохмалю картопляного ТМ «Сто пудів»; 2 — крива динамічної в'язкості для дисперсій крохмалю модифікованого, картопляного NISTATYL CH 31105, E1404

Для кукурудзяного та кукурудзяного модифікованого крохмалю спостерігається аналогічна ситуація. Криві залежності динамічної в'язкості характеризуються однокоекспоненційною залежністю з постійними часу процесів ретроградації крохмалю 2,8 та 5,4 год для кукурудзяного та кукурудзяного модифікованого крохмалю відповідно (рис. 3).

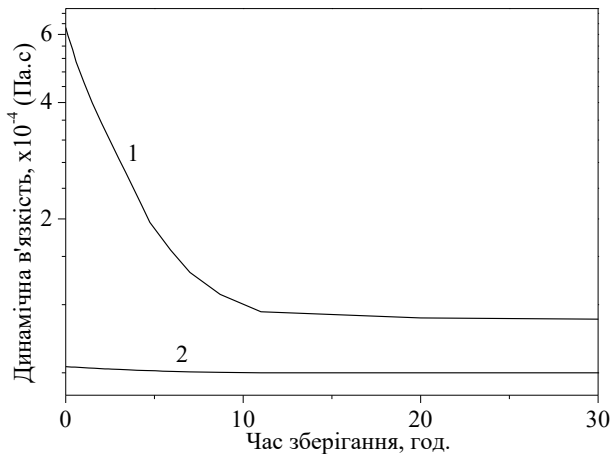


Рис. 3. Криві залежності динамічної в'язкості зразків нативного та окисненого кукурудзяних крохмалів від часу зберігання: 1 — крива динамічної в'язкості для клейстерів крохмалю кукурудзяного ТМ «Август»; 2 — крива динамічної в'язкості для клейстерів крохмалю модифікованого, кукурудзяного Gelix C15, E1404

Висновки

У статті на основі аналізу літературних джерел і результатів власних досліджень описано процеси ретроградації нативних крохмалів та крохмалепродуктів. У результаті математичної обробки експериментальних результатів встановлено залежність в'язкісних характеристик від часу зберігання водних дисперсій. Залежності динамічної в'язкості водних розчинів крохмалю мають однокспоненційний характер. Визначено, що постійна часу процесів ретрогардації є більшою у модифікованих крохмалів, що дає змогу збільшити терміни зберігання харчової продукції, що, у свою чергу, забезпечує економічну вигоду. Окиснені зразки крохмалю відрізняються здатністю утворювати рідкий клейстер, який меншою мірою піддається ретроградації, також йому притаманні хороші структуроутворюючі властивості. Саме тому введення в склад продукту крохмалю модифікованого окисненого сприяє сповільненню процесів ретроградації харчової системи. Впровадження технології такого виду модифікованого крохмалю не потребує значних капіталовкладень, а попит може бути значним за наявності інформації щодо його використання. Результати проведеного дослідження мають не тільки теоретичне значення для розуміння процесу ретроградації та синерезису, але також і суттєве прикладне значення. Використання наукових розробок щодо впливу процесу ретроградації крохмалю та модифікованих крохмалів на термін зберігання харчових продуктів дасть змогу підприємствам галузі отримати не лише економічну вигоду, але й покращити постачання населенню високоякісних продуктів харчування.

Література

- Dobosz A., Sikora M., Krystyan M. (2014). Retrogradacjaskrobi z dodatkiem i bez dodatku nieskrobiowych hydrokoloidow polisacharydowych — metody pomiaru I ich zastosowanie. *Zywność. Nauka. Technologia. Jakość*. 5 (96), 5—20. Взято з: <https://doi.org/10.15193/ZNTJ/2014/96/005-020>.
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E., Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Res. Int.* 43(4). 931—942.
- Funami, T., Kataoka, Y., Omoto, T., Goto, Y., Asai, I., Nishinari, K. (2005). Effects of non-ionic polysaccharides on the gelatinization and retrogradation behavior of wheat starch. *Food Hydrocoll.* 19(1), 1—13. Взято з: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.04.024>.
- Ishiguro, K., Noda, T., Kitahara, K., Yamakawa, O. (2000). Retrogradation of Sweetpotato Starch. *Starch/Stärke*. 52(1), 13—17.
- Junqueira, L. A., Amaral, T. N., Leite, O. N., Prado, M. E. T., Resende, J. V. (2018). Rheological behavior and stability of emulsions obtained from *Pereskia aculeata* Miller via different drying methods. *International Journal of Food Properties*. 21(1). 21—35. Взято з: <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1437177>.
- Khalil, H. P. S., Abdul, Lai, T. K., Tye, Y. Y., Rizal, S., Chong, E. W. N., Yap, S. W., Hamzah, A. A., Fazita, M. R. Nurul., Paridah, M. T. (2018). A review of extractions of seaweed hydrocolloids: Properties and applications. *Express Polymer Letters*. 12(4). 296—317. Взято з: <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2018.27>.
- Lewen, K. S., Paeschke, T., Reid, J., Molitor, P., Schmidt, S. J. (2003). Analysis of the Retrogradation of Low Starch Concentration Gels Using Differential Scanning Calorimetry, Rheology, and Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. *J. Agric. Food. Chem.* 51(8), 2348—2358.

Manoli, T., Nikitchina, T., Menchinska, A., Cui, Z., Barysheva, Y. (2021). The potential of uronide hydrocolloids for the formation of sensory characteristics of health products from hydrobionts. *Food Science & Technology*. 15(2). 42—49. Взято з: <https://doi.org/10.15673/fst.v15i2.2111>.

Parker, R. Ring, S. G. (2001). Aspects of the physical chemistry of starch. *J. Cereal Sci.* 34(1), 1—17.

Pietrzyk, S. (2010). Retrogradacja skrobi i metody jej oznaczania. *Laboratorium*. (9—10), 40—43.

Qing, C., Baodong, Z., Yi, Z., Hongliang, Z. (2021) A comprehensive review of the factors influencing the formation of retrograded starch. *International Journal of Biological Macromolecules*. 186(1). 163—173 Взято з: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.050>.

Sitkiewicz, I., Denoch, S. (2006). Właściwości reologiczne oraz retrogradacja wybranych skrobi modyfikowanych kukurydzy woskowej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*. 46(1). 143—151.

Teimouri, S., Abbasi, S., Scanlon, M. G. (2018). Stabilisation mechanism of various inulins and hydrocolloids: Milk—sour cherry juice mixture. *International Journal of Dairy Technology*. 71(1). 208-215. Взято з: <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12376>.

Vanier, N. L., El Halal, S. L. M., Dias, A. R. G. (2017). Molecular structure, functionality and applications of oxidized starches: A review. *Food Chemistry*. 221. 1546—1559. Взято з: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.138>.

STUDY OF THE INFLUENCE OF DEMINERALIZED WHEY CONCENTRATES ON ICE CREAM QUALITY INDICATORS**A. Mykhalevych, N. Breus, G. Polishchuk, O. Bass***National University of Food Technologies*

Key words:

Whey concentrate
Optimization
Sweetness index
Ice cream
Sucrose

Article history:

Received 15.02.2023
Received in revised form
02.03.2023
Accepted 25.03.2023

Corresponding author:

A. Mykhalevych
E-mail:
artur0707@ukr.net

ABSTRACT

The article scientifically substantiates the possibility of partially replacing sugar in whey ice cream with demineralized whey concentrates with a mass fraction of solids 40%. This will enrich the finished product with whey proteins, maintain a balance in terms of solids content, provide the degree of sweetness inherent in classic ice cream, and prevent consistency defects during storage. At the first stage, a sensory assessment of ice cream samples based on fermented and unfermented demineralized whey concentrates with a mass fraction of sugar from 9 to 17% was carried out according to 6 descriptors of the perception of sucrose sweetness according to authors developed gradation. With the use of mathematical modeling in MathCad 15 mathematical package, the degree of replacement of sugar in ice cream with solids of demineralized whey concentrate was optimized. It was established that the reduction in the need for sugar in ice cream with non-hydrolyzed whey concentrate reached 29% in terms of its total content, and with hydrolyzed concentrate — by 42%.

Based on the obtained data, whey ice cream recipes based on whey concentrates were developed. In order to comprehensively evaluate the developed ice cream recipes, an analysis of their chemical composition was carried out in comparison with classic whey ice cream recipe. In new types of ice cream, the level of protein supply increased from 2.95 to 8.3—8.7% for an increase in the mass fraction of solids from 25 to 39.61—41.61%, which is comparable in terms of these indicators with full-fat analogues of ice cream. The biological value of ice cream samples with whey concentrates also increased from 40.8 to 58.3%. According to the mass fraction of lactose, preference is given to ice cream with hydrolyzed whey concentrate, which has a positive effect on its nutritional value.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНЦЕНТРАТІВ ДЕМІНЕРАЛІЗОВАНОЇ СИРОВАТКИ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ МОРОЗИВА

А. П. Михалевич, Н. М. Бреус, Г. Є. Поліщук, О. О. Басс

Національний університет харчових технологій

У статті науково обґрунтовано можливість часткової заміни цукру у складі морозива сироваткового на концентрати демінералізованої сироватки з масовою часткою сухих речовин 40% з метою збагачення готового продукту сироватковими білками, підтримання в ньому балансу за вмістом сухих речовин, надання притаманного класичному морозиву ступеня солодкості та запобігання вад консистенції під час зберігання. На першому етапі проведено органолептичну оцінку зразків морозива на основі ферментованих і неферментованих концентратів демінералізованої сироватки з масовою часткою цукру від 9 до 17% за шістьма дескрипторами сприйняття солодкості цукрози згідно з градацією, поданою в авторській редакції. Із застосуванням математичного моделювання в середовищі математичного пакета MathCad 15 оптимізовано ступінь заміни цукру в морозиві на сухі речовини концентрату демінералізованої сироватки.

Встановлено, що зниження потреби в цукрі у морозиві з негідролізованим концентратом сироватки досягали в перерахунку на його загальний вміст 29%, а з гідролізованим концентратом — 42%. На основі отриманих даних було розроблено рецептури морозива сироваткового з додаванням концентратів сироватки. З метою всебічної оцінки розроблених рецептур морозива проведено аналіз їх хімічного складу і порівняно з морозивом сироватковим класичним. У нових видах морозива рівень забезпечення білком підвищується з 2,95 до 8,3—8,7% за збільшення масової частки сухих речовин від 25 до 39,61—41,61%, що співвідносно за цими показниками з повножировими аналогами морозива. Також підвищується біологічна цінність зразків морозива з концентратами сироватки з 40,8 до 58,3%. За масовою часткою лактози перевага надається морозиву з гідролізованим концентратом сироватки, що позитивно впливає на його харчову цінність.

Ключові слова: концентрат сироватки, оптимізація, індекс солодкості, морозиво, сахароза.

Постановка проблеми. Виробництво у світі морозива зі зниженим вмістом жиру (низькожирного та низькокалорійного) зростає з кожним роком, що є однією із сучасних тенденцій зміни споживчих вподобань у напрямку здорового харчування. З технологічної точки зору, сахароза виконує у складі морозива не тільки роль підсолоджувача, а й є джерелом сухих речовин, забезпечує належне формування його структури та впливає на якісні показники під час зберігання. Однак у технології любительських видів морозива, зокрема сироватковому, її частка сягає 17%, що є доволі високим показником. Підхід до заміни сахарози у складі морозива повинен бути раціональним, необхідно враховувати економічну складову та прогнозувати можливий вплив на якість продукту під час зберігання.

Використання концентратів демінералізованої сироватки як основи для виробництва сироваткового морозива малодосліджене, передусім через високу присутність у них молочного цукру — лактози, що призводить до утворенню вад консистенції та смаку. Однак застосування гідролізованих концентратів сироватки у складі морозива може допомогти у зниженні вмісту в ньому цукру за рахунок підвищеного ступеня солодкості моносахаридів. Вищезазначені фактори окреслюють науковий інтерес до проведення дослідження можливості розробки рецептур морозива сироваткового на основі концентратів сироватки зі зниженим вмістом цукру і лактози.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зазвичай, виробництво безлактозного морозива або зі зниженим вмістом лактози пов'язано з використанням інгредієнтів, що не містять молочного цукру, або проведенням гідролізу за допомогою ферментного препарату — лактази (Dekker, Koenders, & Bruins, 2019; Facioni, Raspini, Pivari, Dogliotti, & Cena, 2020). Через збільшення вмісту моносахаридів після гідролізу лактози точка замерзання сумішей морозива знижується (Abbasi, & Saeedabadian, 2015; Skryplonek et al., 2019). Це призводить до отримання більш м'якого морозива за тієї ж температури (Romulo, & Meindrawan, 2021). Унаслідок того, що солодкість замороженого десерту збільшується, це дає змогу зменшити масову частку цукру, однак такі зміни зменшують загальну кількість сухих речовин у суміші, що може негативно вплинути на формування структури та інші показники якості морозива під час зберігання (Silva Junior, & Lannes, 2011).

Використання концентрату демінералізованої сироватки у складі морозива є перспективним з огляду на те, що він є джерелом сухих речовин (Kuzmyk, Bass, Mykhalevych, & Osmak, 2021), необхідних для формування характерних ознак морозива. Демінералізована суха сироватка має ряд переваг перед сухою недемінералізованою сироваткою, передусім за вмістом білка. По-друге, низька за вартістю сироватка різного ступеня демінералізації, яку одержують із свіжої підсирної, сирної та казеїнової молочної сироватки, призначена для використання у виробництві харчових продуктів і продуктів дитячого харчування. Високодемінералізована суха сироватка має ряд технологічних переваг, як-то: високу розчинність, низьку гігроскопічність, прогнозований вплив на органолептичні та фізико-хімічні показники за стандартизованого хімічного складу та високої якості продукту з будь-якого виду сироватки (Sychevskyi, Romanchuk, & Minorova, 2019; Stadnyk et al., 2021). Саме тому її використовують у технологіях морозива з низьким вмісту жиру та цукру (Królczyk, Dawidziuk, Janiszewska-Turak, & Solowiej, 2016). Для запобігання надлишковому кристалоутворенню лактози в морозиві під час зберігання застосовують ферментні препарати лактази (Martinez, & Speckman, 1988), що спільно з використанням сухої демінералізованої сироватки дає змогу отримувати бажаний технологічний ефект.

Саме тому використання гідролізованого концентрату демінералізованої сироватки сприятиме вирішенню низки технологічних завдань під час виробництва морозива сироваткового:

- часткова заміна цукру за рахунок підвищеної солодкості моносахаридів у його складі з одночасним підвищенням вмісту сухих речовин до рівня повножирового аналогу 30—40%;

- запобігання надлишковій кристалізації лактози під час зберігання морозива, що призводить до утворення вад консистенції (піщанистість, борошністість).

Мета дослідження: розробка складу нового виду морозива сироваткового підвищеної харчової цінності шляхом використання концентратів демінералізованої сироватки.

Матеріали і методи. Як контроль обрано рецептуру морозива сироваткового, що відноситься до любительських типів морозива, з такими характеристиками: масова частка сухих речовин — 25%, в тому числі масова частка цукру — 17%, масова частка крохмалю — 2,84%, масова частка жиру — не більше 0,5%. Для оптимізації заміни цукру в морозиві сироватковому було обрано концентрат демінералізованої сироватки та гідролізований концентрат демінералізованої сироватки, технологію якого розроблено науковцями кафедри технології молока і молочних продуктів НУХТ (ТУ У 10.5-02070938-311:2022). Було підготовлено дослідні зразки морозива з негідролізованим концентратом сироватки (5 зразків) і з гідролізованим концентратом сироватки (5 зразків), що готували за одночасного зниження вмісту цукру від 17 до 9% і підвищення вмісту 40-відсоткового концентрату сироватки у кількості від 0 до 30% за масовою часткою сухих речовин.

Сушу демінералізовану сироватку відновлювали в питній воді за температури 40...45 °C для одержання концентрату з масовою часткою сухих речовин 40%. Концентрат фільтрували, пастеризували за температури 85...88 °C впродовж 3...5 хв, охолоджували до температури 40...43 °C і одночасно ферментували препаратом GODO-YNL2 та закваскою на основі заквашувального препарату «*L. acidophilus* LYO 50 DCU-S». За одночасного внесення препарату GODO-YNL2 та заквашувального препарату впродовж лаг-фази розвитку *L. Acidophilus* 2...4 год фермент встигає виявити гідролітичну активність при активній кислотності $\text{pH} \geq 5,7$, що дає змогу досягти гідролізу 85% лактози.

Суміші морозива фільтрували, пастеризували за температури 85 ± 2 °C впродовж 5 хв і гомогенізували за тиску $12,0 \pm 2,5$ МПа за допомогою лабораторного гомогенізатора-диспергатора моделі 15M-8TA «Lab Homogenizer & Sub-Micron Disperser» (GAULIN CORPORATION, Massachusetts, USA). Гомогенізовані суміші охолоджували до температури 4 ± 2 °C, витримували не менше 2 год і фризрували за допомогою фризера періодичної дії марки ФПМ-3.5/380-50 «Ельбрус-400» (Україна). Процес фризрування проводили у два етапи:

1) етап охолодження до температури мінус 2 °C за частоти обертів мішалки 270 об/хв;

2) етап фризрування до температури мінус 4 °C за частоти обертів мішалки 540 об/хв. Зразки м'якого морозива загартовували і зберігали не менше 48 год у морозильній камері «Caravell A/S» (Данія) за температури мінус 22 ± 1 °C.

Масову частку сухих речовин у концентратах сироватки визначали з використанням сушильної шафи за традиційним способом, запропонованим Асоціацією офіційних хіміків-аналітиків (2016), за методикою, запропонованою Інститутом Адольфо Лутца (Zenebon, & Pascuet, 2005).

Масову частку білка в концентратах сироватки визначали методом К'ельдаля (Kirk, 1950).

Вміст лактози в грамах у концентратах сироватки визначали йодометричним та рефрактометричним методами (Romanchuk, Minorova, & Krushelnytska, 2018; Pomeranz, & Meloan, 1994).

Характеристики концентратів сироватки наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники концентратів демінералізованої сироватки
($P \geq 0,95$; $n=3$)

Назва показника	Концентрат демінералізованої сироватки	Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки
Масова частка сухих речовин, %, не менше	40,0 $\pm$ 0,2	40,1 $\pm$ 0,14
Масова частка білка, %, не менше	4,4 $\pm$ 0,01	4,4 $\pm$ 0,01
Масова частка лактози, %, не більше	30,8 $\pm$ 0,25	6,6 $\pm$ 0,2

Розрахунок оптимального складу морозива сироваткового з концентратами сироватки демінералізованої (5 зразків) та гідролізованої демінералізованої (5 зразків) виконували у середовищі математичного пакета MathCad 15.

Коефіцієнт амінокислотного SKOPy, що є відношенням вмісту незамінної амінокислоти продукту до вмісту відповідної незамінної амінокислоти «ідеального білка» за шкалою FAO/BO3, та біологічну цінність розраховували за спеціальним методом (Bobel, Adamczyk, & Falendysh, 2022).

Дані були виражені як середнє значення зі стандартним відхиленням за трикратного вимірювання. Статистичний аналіз проводили за допомогою програми Statistika 10. Відмінності вважали достовірними при валідності $\alpha=0,95$.

Викладення основних результатів дослідження. Концентрати демінералізованої сироватки з масовою часткою сухих речовин 40% найбільш наближені до хімічного складу морозива жирного за вмістом сухих речовин і ефективні для підтримання балансу саме за вмістом сухих речовин у морозиві нежирному або низькожирному для запобігання вад консистенції, що викликані надлишком вмісту води (Osmak, Mleko, Bass, Mykhalevych, & Kuzmyk, 2021). Що стосується вибору ступеня гідролізу, то в досягнутих межах ефективності цього процесу (від 80 до 90%) очевидно є незначна відмінність ступеня солодкості для гідролізованих зразків, яка не впливатиме суттєво на загальні рекомендації щодо розробки рецептур морозива з ферментованими концентратами сироватки. Тому, зважаючи на вищевказане, для застосування в складі морозива було обрано концентрат з усередненим ступенем гідролізу лактози 85%.

На наступному етапі дослідження було проведено органолептичну оцінку контрольних зразків морозива сироваткового з масовою часткою цукру від 9 до 17% (рис. 1) за 6 дескрипторами сприйняття солодкості цукрози (Trumbo et al., 2021), які в авторській редакції мали таку градацію за ступенем солодкості: 0,96...1,0 — дуже солодкий, 0,91...0,95 — солодкий, 0,81...0,9 — достатньо солодкий, помірно солодкий — 0,66...0,8, недостатньо солодкий — 0,41...0,65, не-солодкий — 0...0,4.

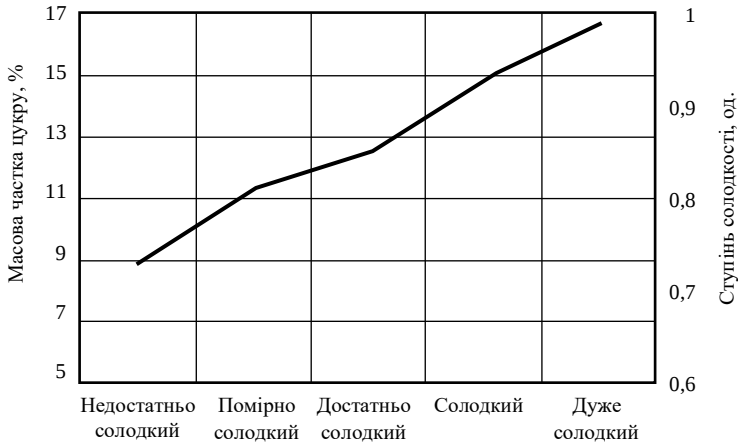


Рис. 1. Кореляція між дескрипторами сприйняття солодкості та індексом солодкості залежно від масової частки цукру в контрольних зразках

Ступінь солодкості зразка морозива сироваткового з масовою часткою цукру 17%, виготовленого за класичною рецептурою, було прийнято за 1. За результатами органолептичної оцінки зразків морозива сироваткового за критерій оптимізації складу морозива обрано ступінь солодкості від 0,8 до 0,9 з огляду на уподобання сучасних споживачів до продуктів десертного призначення помірної солодкості.

Для проведення оптимізації складу морозива сироваткового було створено відповідні матриці із розрахованими значеннями індексу солодкості морозива за різного співвідношення між цукром і гідролізованим сироватковим концентратом.

Існуючі моделі оптимізації рецептур зводили до завдання регресійного аналізу експериментальних даних методом багатовимірної апроксимації. Для оптимізації функцій відгуку з метою розробки рекомендацій щодо часткової заміни цукру в морозиві на гідролізовані концентрати сироватки, авторами використано методологію поверхні відгуку за допомогою графічних 3D моделей у вигляді ізоліній (Litnarovich, 2011).

Незалежними чинниками, якими варіювали, обрано масову частку цукру (X_1) в діапазоні від 9 до 17 % та масову частку сухих речовин концентратів сироватки (X_2) в діапазоні від 0 до 30 %. Вміст у морозиві сухих речовин сироватки 10, 20 і 30% забезпечували вмістом 40-відсоткового концентрату сироватки у кількостях 25, 50 і 75%.

У загальному вигляді функція відгуку описується таким поліномом:

$$\hat{y}(x, b) = b_0 + \sum_{l=1}^n b_l x_l + \sum_{k=1}^n b_k x_k^2 + \sum_{l=1}^{n-1} \sum_{j=l+1}^n b_{lj} x_l x_j; \quad (1)$$

де $x \in R^2$ — вектор змінних; b — вектор параметрів.

Для знаходження відносної солодкості з концентратами сироватки демінералізованої у складі морозива були виведені рівняння регресії у вигляді поліномів

другого ступеня. Отримані рівняння з розрахованими коефіцієнтами мають вигляд:

$$F1 = 0,0195 + 0,005x + 0,00008x^2 + 0,056y - 0,0005y^2 - 0,0005xy; \quad (2)$$

$$F2 = 0,0017 + 0,056x + 0,00005x^2 + 0,0086y + 0,00009y^2 - 0,0001xy, \quad (3)$$

де $F1$ — відносна солодкість морозива з концентратом сироватки демінералізованої (без гідролізу лактози); $F2$ — відносна солодкість морозива з концентратом сироватки демінералізованої (зі ступенем гідролізу лактози 85%); x — м. ч. цукру, %; y — м. ч. сухих речовин демінералізованої сироватки, %.

Для перевірки адекватності отриманих моделей (2) та (3) було проведено обчислення середньоквадратичного відхилення як квадратного кореня з дисперсії за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}}, \quad (4)$$

де $\hat{y}_i$ — значення, розраховані за допомогою регресійного рівняння; y_i — значення експериментальних даних.

Для показника відносної солодкості морозива з концентратом сироватки демінералізованої (без гідролізу лактози) середньоквадратичне відхилення становить $\sigma_{F1} = 0,0003$ для показника відносної солодкості морозива з концентратом сироватки демінералізованої (зі ступенем гідролізу лактози 80%) — $\sigma_{F2} = 0,0001$, що свідчить про досить високий ступінь відтворюваності результатів дослідження за допомогою площини відгуку.

Відповідно до рівнянь (2) і (3), на рис. 2 наведені графічні залежності функцій відгуку від варійованих параметрів — масової частки цукру та масової частки сухих речовин сироватки (СРКС) у складі морозива.

Згідно з результатами оптимізації складу морозива (рис. 2) встановлено діапазони вмісту цукру і концентратів гідролізованої і негідролізованої сироватки з масовою часткою сухих речовин 40%, які забезпечують відносну солодкість продукту у межах від 0,8 до 0,9.

Для досягнення рекомендованого ступеня солодкості морозива (0,8...0,9) для продукту з негідролізованим концентратом сироватки максимально можливою заміною цукру є зниження його вмісту від 15,5% до 11,0% за одночасного внесення до 30% сухих речовин концентрату. Що стосується морозива з гідролізованим концентратом, то максимально можливе зниження вмісту цукру є суттєвішим і досягає 9% у разі внесення до 30% сухих речовин концентрату.

Отже, зниження потреби в цукрі у морозиві з негідролізованим концентратом сироватки в перерахунку на його загальний вміст становить 29%, а з гідролізованим концентратом — 42%.

Повідомлялося, що в разі використання гідролізованої сироватки ступінь заміни цукру в морозиві може становити до 25% (Sofjan, & Hartel, 2004), однак, згідно з одержаними результатами доведено, що цей показник може бути більшим. Навіть негідролізований концентрат за рахунок високого вмісту лактози спроможний частково замінити цукор, хоча у складі морозива внесення лактози у такій кількості може призводити до численних вад консистенції.

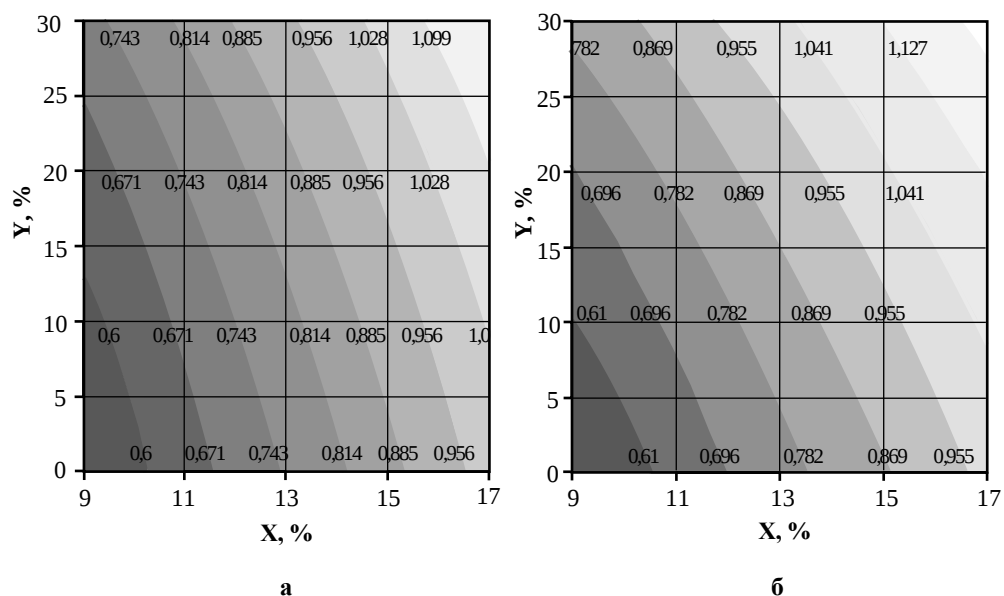


Рис. 2. Графічні залежності у вигляді ізоліній значень відносної солодкості морозива від масової частки цукру, % — X, та масової частки сухих речовин сироватки, % — Y з концентратом сироватки: а — демінералізованої негідролізованої; б — демінералізованої гідролізованої

На основі отриманих даних було розроблено рецептури морозива з використанням концентратів сироватки демінералізованої з максимальною заміною цукру, що наведені у табл. 2.

Таблиця 2. Рецептури морозива сироваткового з концентратами демінералізованої сироватки та без неї

Рецептурні компоненти	Маса компонентів, кг/1000 кг продукту		
	морозиво сироваткове (контроль)	морозиво з негідролізованим концентратом	морозиво з гідролізованим концентратом
Сироватка молочна свіжа підсирна	751,6	-	-
Концентрат де мінералізованої сироватки підсирної з масовою часткою сухих речовин 40%	-	750,0	750,0
Цукор білий кристалічний	170,0	110,0	90,0
Крохмаль картопляний желеуючий	28,4	-	-
Стабілізаційна система Cremodan SE 406	-	6,0	6,0
Закваска ацидофільна	50,0	-	-

Ванілін	-	0,1	0,1
Вода питна	-	133,9	153,9
Всього:	1000,0	1000,0	1000,0

З метою всебічної оцінки розроблених рецептур морозива та їх порівняння з існуючим складом (контроль) було також проведено розрахунок хімічного складу (табл. 3).

Таблиця 3. Хімічний склад морозива сироваткового з концентратами демінералізованої сироватки та без неї

Назва показника	Маса компонентів, кг/1000 кг продукту		
	морозиво сироваткове (контроль)	морозиво з негідролізованим концентратом	морозиво з гідролізованим концентратом
Масова частка сухих речовин, %, не менше	25,0	41,61	39,61
у тому числі:			
білків	0,76	3,3	3,3
жирів	0,1	0,74	0,74
вуглеводів	24,78	34,9	33
лактози	3,9	23,70	3,55
Енергетична цінність, ккал	103,1	159,5	151,7
Забезпечення білком, %	2,95	8,3	8,7
Біологічна цінність, %	40,8	58,3	58,3

Морозиво на основі концентратів сироватки за масовою часткою сухих речовин можна віднести до повножирового аналогу (12...18% жиру), зокрема категорії понадпреміального виду морозива (масова частка сухих речовин 40...42%) у разі застосування негідролізованого концентрату та до категорії преміального (масова частка сухих речовин 38...40%) у разі використання гідролізованого концентрату (Romulo, & Meindrawan, 2021). Масова частка високоцінних сироваткових білків у морозиві на основі концентратів сироватки відповідає середньому вмісту білка у традиційних видах морозива 2,5...3,8%, та перевищує діапазон для любительських видів морозива, що є значно нижчим і становить 1,28...1,41% (Polishchuk et al., 2021; Young, 2007). Рівень забезпечення білком значно перевищує контрольний склад, однак є недостатнім для того, щоб віднести його до продукту, збагаченого білком (понад 12% забезпечення білком відповідно до регулятиви ЄС No 1924/2006), що буде одним з подальших напрямків дослідження. Загалом дані з табл. 3 свідчать про суттєве підвищення харчової цінності розроблених складів морозива на основі концентратів сироватки. Однак за кількістю лактози морозиво з негідролізованим концентратом суттєво перевищує інші зразки, що може стати причиною утворення вад консистенції та смаку під час зберігання продукту за мінусових температур та буде враховано при подальшому дослідженні.

Висновки

За результатами органолептичної оцінки зразків морозива сироваткового за критерій оптимізації складу морозива обрано ступінь солодкості від 0,8 до 0,9 з огляду на уподобання сучасних споживачів до продуктів десертного призначення помірної солодкості.

Оптимізовано ступінь заміни цукру в морозиві на сухі речовини концентрату демінералізованої сироватки. Так, зниження потреби в цукрі в морозиві з негідролізованим концентратом сироватки може досягати в перерахунку на його загальний вміст 29%, а з гідролізованим концентратом — 42%.

Розроблено рецептури морозива сироваткового на основі концентратів сироватки та розраховано їхній хімічний склад і біологічну цінність. Переваги розроблених рецептур морозива полягають у збільшенні рівня забезпечення білком з 2,95 до 8,3...8,7%, а масової частки сухих речовин — з 25% до 39,61...41,61%, що співвідносно за цими показниками з повножировими аналогами морозива.

Перспектива подальших досліджень полягає в науковому обґрунтуванні складу морозива на основі концентратів сироватки з рівнем забезпечення білка понад 12%, що дасть змогу віднести їх до продуктів, збагачених білком.

Література

- Abbasi, S., Saeedabadian, A. (2015). Influences of lactose hydrolysis of milk and sugar reduction on some physical properties of ice cream. *J Food Sci Technol*, 52, 367—374. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1011-1>.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2016). Official methods of analysis, 20th ed., 4th rev. Pharnabooks: Published by AOAC International, 2(32), 1—43.
- Bobel I., Adamczyk G., Falendysh N. (2022), Nutritional and biological value of mushroom snacks, *Food and Environment Safety*, 21(2), 190—197. DOI: 10.4316/fens.2022.018.
- Dekker, P. J. T., Koenders, D., Bruins, M. J. (2019). Lactose-Free Dairy Products: Market Developments, Production, Nutrition and Health Benefits. *Nutrients*, 11(3), 551. <https://doi.org/10.3390/nu11030551>.
- Facioni, M. S., Raspini, B., Pivari, F., Dogliotti, E., Cena, H. (2020). Nutritional management of lactose intolerance: the importance of diet and food labelling. *Journal of translational medicine*, 18(1), 1—9.
- Kirk, P. L. (1950). Kjeldahl method for total nitrogen. *Analytical chemistry*, 22(2), 354—358.
- Królczyk, J. B., Dawidziuk, T., Janiszewska-Turak, E., Solowiej, B. (2016). Use of whey and whey preparations in the food industry—a review, *Polish journal of food and nutrition sciences*, 66(3), 157. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0052>.
- Kuzmyk, U., Bass, O., Mykhalevych, A., Osmak, T. (2021). Investigation of the fermentation process of demineralized whey concentrates for ice cream production. *Trends in LEAN food production and packaging: Proceedings of the 10th International Specialized Scientific and Practical Conference, Kyiv: NUFT*, 122—123.
- Litnarovich, R. M. (2011). Construction and research of mathematical model on the sources of experimental data by the methods of regressive analysis. Train aid. IEGU, Rivne, 140.
- Martinez, S. B., Speckman, R. A. (1988). β -galactosidase treatment of frozen dairy product mixes containing whey. *Journal of dairy science*, 71(4), 893—900. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79635-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79635-6).
- Osmak, T., Mleko, S., Bass, O., Mykhalevych, A., Kuzmyk, U. (2021). Enzymatic hydrolysis of lactose in concentrates of reconstituted demineralized whey, intended for ice cream production. *Ukrainian Food Journal*, 10(2), 277—288. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-2-6>.

Polishchuk, G., Kochubei-Lytvynenko, O., Osmak, T., Kuzmyk, U., Bass, O., Mykhalevych, A., Sapiga, V. (2021). Scientific explanation of composition of acidophilic whey ice cream, enriched with protein. *Food and Environment Safety Journal*, 20(1), 13—20. <https://doi.org/10.4316/fens.2021.002>.

Pomeranz, Y., Meloan, C. E. (1994). *Refractometry and Polarimetry*. In: *Food Analysis*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6998-5_27.

Romanchuk, I., Minorova, A., Krushelnytska, N. (2018). Physical-chemical composition and technological properties of demineralized milk whey received by membrane methods. *Agricultural Science and Practice*, 5(3), 33—39. <https://doi.org/10.15407/agrisp5.03.033>.

Romulo, A., Meindrawan, B. (2021). Effect of Dairy and Non-Dairy Ingredients on the Physical Characteristic of Ice Cream. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 794(1), 012145.

Silva Junior, E. D., Lannes, S. C. D. S. (2011). Effect of different sweetener blends and fat types on ice cream properties. *Food Science and Technology*, 31, 217—220.

Skryplonek, K., Henriques, M., Gomes, D., Viegas, J., Fonseca, C., Pereira, C., Dmytrów, I., Mituniewicz-Malek, A. (2019). Characteristics of lactose-free frozen yogurt with κ-carrageenan and corn starch as stabilizers. *Journal of Dairy Science*, 102(9), 7838—7848. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16556>.

Sofjan, R. P., Hartel, R. W. (2004). Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. *International Dairy Journal*, 14, 255—262. <http://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.08.005>.

Stadnyk, I., Piddubnuy, V., Kravchenko, M., Rybchuk, L., Balaban, S., Veselovska T. (2021). The effect of dry demineralized whey (ddw) and coconut oil on the rheological characteristics of the legume butter. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 15, 318—32. <https://doi.org/10.5219/1578>.

Sychevskiy, M., Romanchuk, I., Minorova, A. (2019). Milk whey processing: prospects in Ukraine. *Food Science and Technology*, 13(4), 58—68. <https://doi.org/10.15673/fst.v13i4.1557>.

Trumbo, P. R., Appleton, K. M., de Graaf, K., Hayes, J. E., Baer, D. J., Beauchamp, G. K., Dwyer, J. T., Fernstrom, J. D., Klurfeld, D. M., Mattes, R. D., Wise, P. M. (2021). Perspective: Measuring Sweetness in Foods, Beverages, and Diets: Toward Understanding the Role of Sweetness in Health. *Advances in nutrition (Bethesda, Md.)*, 12(2), 343—354. <https://doi.org/10.1093/advances/nmaa151>.

Young, S. (2007). *Whey products in ice cream and frozen dairy desserts*. Applications Monograph.

Zenebon, O., Pascuet, N. S. (2005). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. In *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*, 1020.

UDC 641.887.5

INFLUENCE OF PLANT-BASED INGREDIENTS ON THE SENSORY AND PHYSICOCHEMICAL INDICATORS OF SALAD DRESSINGS

I. Dudarev

Lutsk National Technical University

O. Kuzmin

National University of Food Technologies

Key words:

Salad dressing

Beans

Oat milk

Chicory

Freeze-dried plant powder

Article history:

Received 09.03.2023

Received in revised form
23.03.2023

Accepted 04.04.2023

Corresponding author:

I. Dudarev

E-mail:

i_dudarev@ukr.net

ABSTRACT

A healthy lifestyle and consumption of healthy food is becoming widespread. Scientists and manufacturers pay attention to the development of innovative low-calorie food from plant-based raw materials with low fat content. Mayonnaise, which is a high-fat and high-calorie food, is the most popular salad dressing. Recipe development for mayonnaise analogues, which do not contain animal-based ingredients and are also enriched with useful nutrients, is extremely relevant. The purpose of the research is to determine the influence of plant-based ingredients on the sensory and physicochemical indicators of salad dressings and optimize their recipes. The linear programming method was used to optimize the recipes. The methods of sensory analysis and expert method were used to determine sensory properties and quality of the developed salad dressings. The weighting coefficients of the sensory indicators of bean salad dressings were determined. According to experts' opinion, consistency, appearance and taste are the most important sensory indicators of salad dressings. The recipes of salad dressings were optimized by the content of protein, fat and carbohydrates. The developed salad dressings contain common beans, oat milk, freeze-drying fruit and vegetable powders, chicory paste. Plant-based ingredients enriched salad dressings with useful nutrients and provided them with high sensory properties. The developed salad dressings have uniform and thick purée texture, and pleasant taste and aroma. The physicochemical indicators of salad dressings were determined, in particular titratable acidity, fat and moisture content. The developed salad dressings expand the range of products from plant-based raw materials and can be positioned as healthy food. They can be used as low-calorie and low-fat analogues of mayonnaise.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-2-12

ВПЛИВ РОСЛИННИХ ІНГРЕДІЄНТІВ НА ОРГАНОЛЕПТИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ САЛАТНИХ ЗАПРАВОК

І. М. Дударєв

Луцький національний технічний університет

О. В. Кузьмін

Національний університет харчових технологій

Здоровий спосіб життя та споживання здорової їжі стає все більш поширеним у світі. Вчені та виробники активно працюють над розробленням інноваційних низькокалорійних продуктів харчування з рослинної сировини з низьким вмістом жиру. Найпопулярнішою заправкою для салатів є майонез, що відноситься до висококалорійних продуктів із високим вмістом жиру. Надзвичайно актуальним є напрям розроблення рецептур аналогів майонезу, які не містять сировини тваринного походження та збагачені корисними поживними речовинами.

Метою дослідження є визначення впливу інгредієнтів рослинного походження на сенсорні та фізико-хімічні показники салатних заправок та оптимізація їх рецептур. Для оптимізації рецептур використовувався метод лінійного програмування. Для визначення органолептичних показників та якості розроблених салатних заправок використовували методи сенсорного аналізу та експертний метод. Визначено вагові коефіцієнти органолептичних властивостей салатних заправок із квасолі. На думку експертів, найважливішими органолептичними властивостями салатних заправок є консистенція, зовнішній вигляд та смак. Рецептури салатних заправок були оптимізовані за вмістом білків, жирів і вуглеводів. Розроблені салатні заправки містять квасолю, вівсяне молоко, фруктові та овочеві сублімовані порошки, а також цикорій. Компоненти рослинного походження збагачують заправки для салатів корисними поживними речовинами та забезпечують їх високі органолептичні показники. Розроблені салатні заправки мають однорідну густу консистенцію пюре, приємний смак і аромат. Визначено фізико-хімічні показники розроблених салатних заправок, зокрема кислотність, масова частка жиру та вологості. Розроблені салатні заправки розширюють асортимент продукції з рослинної сировини і можуть позиціонуватися як продукти для здорового харчування. Їх можна використовувати як низькокалорійні і нежирні аналоги майонезу.

Ключові слова: салатна заправка, квасоля, вівсяне молоко, цикорій, сублімовані рослинні порошки.

Formulation of the problem. In the food industry, salad dressing products have received growing attention due to increased consumer demand for salads as healthy food (De Melo, de Souza, da Silva Araujo, & Magnani, 2015). The trend of reducing fat content in food products has been increasing in recent years (Tekin-Cakmak, Karasu, Kayacan-Cakmakoglu, & Akman, 2021). Therefore, the food industry is seeking to develop a new reduced-fat and low-cholesterol salad dressings that have attributes similar to full-fat products (Ma, & Boye, 2013). Consumers increasingly pay particular

attention to the food with potential health promoting compounds, such as common beans (Nyau, 2014).

Analysis of recent research and publications. Common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are nutritionally and economically important food crop, which are a source of protein (16...33%), dietary fibre (14...19%), lipids (1...3%) and vitamins (thiamine, riboflavin, niacin, vitamin B6, folic acid) (Kutoš, Golob, Kač, & Plestenjak, 2003; Hayat, Ahmad, Masud, Ahmed, & Bashir, 2013; Wainaina et al., 2021). Especially, common beans have a great potential as a resource of qualitative proteins for human body. Bean seeds also contain minerals including calcium, magnesium, potassium, phosphorus, copper, iron, zinc, manganese and sulfur (Suárez-Martínez et al., 2016). Beans have some bioactive components such as polyphenols, lectins, and carbohydrates, which are related with health benefits (Reynoso-Camacho, Ramos-Gomez, & Loarca-Pina, 2006).

Common beans are always consumed processed. During processing (soaking, cooking, canning), the content of health compounds changes depends on the type of beans, the processing method and its duration (Kutoš, Golob, Kač, & Plestenjak, 2003). Common bean is a traditional low-fat food in the human diet (Gallegos-Infante et al., 2010). Common beans can be included into recipes of products such as soups, meat products, bakery products, purees, extruded snacks, pasta, yogurts and salad dressings (Ma, Boye, Azarnia, & Simpson, 2016). Flour, which is produced from common bean using the different processing methods, is used to prepare bean sauces (Byarugaba, Nabubuya, & Muyonga, 2020). Also common bean flour is added to spaghetti pasta (Gallegos-Infante et al., 2010).

To soften the common beans, which are made up of seed coat and the cotyledon, and reduce the cooking time, several softening techniques including soaking, ultrasound assisted hydration, salts addition, blanching, autoclaving and extrusion are applied (Mba, Kwofie, & Ngadi, 2019). Water soaking is the most widely used technique (Wainaina et al., 2021). Soaking before cooking and discarding the soaking water is an effective way to reduce the amounts of oligosaccharides that cause flatulence (Fernandes, Nishida, & Da Costa Proença, 2010). For soaking, water ratios are varied from 1:1 to 1:5, and soaking durations are ranged from 12 to 16 h (Drulyte, & Orlén, 2019). Soaked beans are cooked (boiled) in water at temperatures 95...100 °C. Cooking beans can take around 1 hours or longer depending on the variety, age, storage history and other quality dependent factors. The cooking process influence on sensory properties of beans such as appearance and texture (Chigwedere et al., 2018). Cooked beans impart excellent aroma to food (Mishra, Tripathi, Gupta, & Variyar, 2017), which is a result of chemical reactions taking place during thermal treatment (Ma et al., 2016).

Soaking and thermal treatment improve protein digestibility of beans from 25...60% (raw beans) to 65...85% (cooked beans) (Rehman, & Shah, 2005; Zamindar, Baghekhanda, Nasirpour, & Sheikhzeinoddin, 2011). Thermal treatment does not effect on copper, iron, sulfur, and zinc concentrations in beans, but it increases calcium, potassium, magnesium, phosphorus concentrations in some bean species (Ferreira, Naozuka, Kelmer, & Oliveira, 2014). Minerals are not destroyed during cooking, but they may leach out into the cooking water during prolonged cooking. To reduce the cooking time, beans are cooked under pressure (Wainaina et al., 2021).

Another plant-based ingredient that is included in the recipe of salad dressings is plant milk. Due to its beneficial properties, oat milk is one of the most popular types of plant

milk (Ismail, 2015; Collard, & Mc Cormick, 2021). Oat milk contains minerals such as (mg per 100 g): iron (Fe) 6.4...7.4, calcium (Ca) 84.3...85.6, potassium (K) 669.2...671.6, sodium (Na) 3.11...3.21, phosphorus (P) 672.3...816.32 (Paul, Kumar, Kumar, & Sharma, 2020).

Using fruit and vegetables in the recipe of salad dressings is traditional as they are essential for a balanced diet (Karam, Petit, Zimmer, Baudelaire Djantou, & Scher, 2016). But they are seasonal products that cannot retain their properties throughout the year. Also, fresh fruit and vegetables contain about 90% water by weight (Gaudel et al., 2022), which leads to their quick spoilage. Therefore, they are processed for preservation. Different techniques are used in food industry to dry fruit and vegetables including solar dryer, microwave heating, infrared irradiation, super-heated steam drying, fluidized drying, flash drying, freeze drying, and vacuum drying (Sagar, & Suresh Kumar, 2010; Salehi, & Aghajanzadeh, 2020). Freeze-drying technology ensures preservation of the original color, flavor, taste and appearance of fresh food (Liu, Zhang, & Hu, 2022). Freeze-dried plant powders, which are used in the healthy food products, are known as a good source of nutrients. That's why they are a good alternative to fresh fruit and vegetables (Harnkarnsujarit, & Charoenrein, 2011). For fruit and vegetables, dehydration process helps to preserve their sensory, physical, and chemical properties (Athma-selvi, Kumar, Balasubramanian, & Ishita Roy, 2014). Plant powders are mainly used as ingredients in baby food, sweets, fruit yogurts, soups, cakes, ice cream and confections, to enhance the color, flavor and nutritional value of the products (Saifullah, Yusof, Chin, & Aziz, 2016). For ease of storage and transportation, plant powders are processed into a tablet form (Aziz et al., 2018). Thus, the use of freeze-drying plant powders as ingredients of salad dressings is promising.

Soluble chicory is an innovative low calorie ingredient for salad dressings. Traditionally, chicory roots, leaves, and extracts are used in products such as alcoholic and non-alcoholic beverages as well as a coffee substitute (Schmidt, Ilic, Poulev, & Raskin, 2007). All parts of chicory possess great medicinal importance due to the presence of a number of medicinally important compounds (Abbas et al., 2015). Natural products extracted from chicory are an important source of inulin, vitamins, tannins, carotene, organic acids and minerals (Wang, & Cui, 2011).

Modern trend in the improvement of salad dressings is to reduce their caloric content. Height, weight, age, body composition, and gender influence daily caloric needs of human body (Kerksick, 2019). To achieve optimal nutrition for human body through the intake of healthy foods, population nutrition should be adopted in line with FAO/WHO recommendations. Dietary guideline is included more than 400 g fruit and vegetables per day and limitation of total fat intake less than 30% of calories (WHO/FAO, 2003; Nehir El, & Simsek, 2011). Also, protein should comprise 10...30% of calories, fat — 25...35% of calories, and carbohydrates — 45...65% of calories (US Department of Health Human Services, 2019; Kwon, Lee, Park, & Lee, 2020). Humans need more than 22 mineral elements; their deficiencies are impairing the human health and productivity (Martínez-Ballesta et al., 2010). The recommended daily intake of mineral elements is as following: calcium (Ca) 800...1300 mg per day; magnesium (Mg) 200...400 mg per day; potassium (K) 3500 mg per day; sodium (Na) 2400 mg per day; phosphorus (P) 800—1300 mg per day; copper (Cu) 1...1.6 mg per day; iron (Fe) 8...18 mg per day; manganese (Mn) 2 mg per day; zinc (Zn) 8...11 mg per day (Martínez-Ballesta et al., 2010).

The purpose of the research is to determine the influence of plant-based ingredients on the sensory and physicochemical indicators of salad dressings and optimize their recipes.

Materials and methods. *Caloric content calculation.* Salad dressing ingredients including common beans (Aromiks Grup, Kyiv, Ukraine), sunflower oil (Dnipro Oil Extraction Plant, Dnipro, Ukraine), oat milk (Loostdorf LLC, Illintsi, Ukraine), vinegar (Lutsk Foods, Lutsk, Ukraine), sugar (Hnidava Sugar Plant, Lutsk, Ukraine), salt (Artemsil, Soledar, Ukraine), mustard seeds (Rivne Product Company, Rivne, Ukraine), dried dill (Spays-Lutsk, Lutsk, Ukraine), freeze-dried blueberry, currant and carrot powders (Galfrost, Zhovkva, Ukraine), and soluble chicory (Slavuta Chicory Drying Plant, Slavuta, Ukraine) were purchased from local supermarkets (Ukraine). In the salad dressing ingredients, the content of protein, fat and carbohydrates was determined according to the manufacturer data (Table 1). For 100 g of each ingredient, the caloric content was calculated by Equation (1):

$$E = k_p P + k_f F + k_c C, \quad (1)$$

where E — ingredient caloric content, kcal; k_p , k_f , k_c — caloric content per 1 g of protein, fat and carbohydrates ($k_p = 4$ kcal; $k_f = 9$ kcal; $k_c = 3,75$ kcal), kcal; P , F , C — content of protein, fat and carbohydrates per 100 g of the ingredient, %.

In Table 1, the calculated caloric content of the salad dressing ingredients is presented.

Table 1. Nutrients and caloric content per 100 g of the salad dressing ingredients

Ingredients	Protein (P), %	Fat (F), %	Carbohydrates (C), %	Caloric content (E), kcal	Marking of ingredients
Cooked bean	22.1	2.5	59.9	335.5	x_1
Sunflower oil	0.0	99.9	0.0	899.1	x_2
Oat milk	1.3	0.5	7.0	36.0	x_3
Acetic acid 9%	0.0	0.0	0.0	0.0	x_4
Sugar	0.0	0.0	99.8	374.3	x_5
Salt	0.0	0.0	0.0	0.0	x_6
Mustard (seeds)	25.8	30.8	23.4	468.2	x_7
Dried dill	23.9	5.0	19.3	213.0	x_8
Blueberry powder	7.7	2.1	87.0	376.0	x_9
Currant powder	6.7	1.0	31.7	154.7	x_9
Carrot powder	7.8	0.6	49.2	221.1	x_9
Chicory soluble	4.2	0.0	62.2	250.0	x_9

Recipe optimization method. Five model compositions of salad dressing were developed. The model compositions, which were marked S1, S2, S3, S4, and S5, contained a specific set of ingredients (Table 2). All model compositions contained cooked common bean, sunflower oil, oat milk, acetic acid solution 9%, sugar, salt, mustard seeds and dried dill. Also, salad dressing S2 contained freeze-dried blueberry powder; salad dressing S3 contained freeze-dried currant powder; salad dressing S4

contained freeze-dried carrot powder; and salad dressing S5 contained chicory soluble (paste).

Table 2. Ingredients of salad dressing model compositions

Ingredients	Marking of ingredients	Model compositionsof salad dressing				
		S1	S2	S3	S4	S5
Cooked common bean	x_1	+	+	+	+	+
Sunflower oil	x_2	+	+	+	+	+
Oat milk	x_3	+	+	+	+	+
Acetic acid solution 9%	x_4	+	+	+	+	+
Sugar	x_5	+	+	+	+	+
Salt	x_6	+	+	+	+	+
Mustard (seeds)	x_7	+	+	+	+	+
Dried dill	x_8	+	+	+	+	+
Blueberry powder	x_9	-	+	-	-	-
Currant powder	x_9	-	-	+	-	-
Carrot powder	x_9	-	-	-	+	-
Chicory soluble	x_9	-	-	-	-	+

To optimize the salad dressing recipe, the linear programming method was used (Murota, 2020). The objective function which was desired to minimize was caloric content of the salad dressing samples:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^9 a_i x_i}{100} \rightarrow \min, \quad (2)$$

where z — objective function (caloric content of 100 g of salad dressing), kcal; $a_1, \dots, a_9$ — objective function coefficients, which are equal to the caloric content of 100 g of salad dressing (Table 3), kcal; $x_1, \dots, x_9$ — mass of ingredients per 100 g of salad dressing, g.

Table 3. Objective function coefficients for different model compositions of salad dressings

Salad dressings	Objective function coefficients								
	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
S1	335.5	899.1	36.0	0.0	374.3	0.0	468.2	213.0	0.0
S2	335.5	899.1	36.0	0.0	374.3	0.0	468.2	213.0	376.0
S3	335.5	899.1	36.0	0.0	374.3	0.0	468.2	213.0	154.7
S4	335.5	899.1	36.0	0.0	374.3	0.0	468.2	213.0	221.1
S5	335.5	899.1	36.0	0.0	374.3	0.0	468.2	213.0	250.0

To simplify the mathematical model, such ingredients as freeze-dried powders of blueberry, currant and carrot, and chicory soluble are marked the same x_9 . Since only one of these ingredients x_9 can be in the recipe of salad dressings S2, S3, S4 and S5.

Optimization mathematical model included restriction conditions. For content of salad dressing ingredients, restriction conditions were formed:

1) total weight of the salad dressing ingredients was 100 g:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 = 100, \quad (3)$$

2) content of cooked beans (x_1), sunflower oil (x_2) and oat milk (x_3) could vary within:

$$0 < x_1 < 100, \quad 0 < x_2 < 100, \quad 0 < x_3 < 100, \quad (4)$$

3) based on spice content in similar salad dressing, content of spices was accepted:

$$x_4 = 0.9, \quad x_5 = 0.9, \quad x_6 = 0.7, \quad x_7 = 0.2, \quad x_8 = 0.05, \quad (5)$$

4) content of additives (freeze-dried powders and chicory) did not exceed 2%:

$$0 < x_9 < 2. \quad (6)$$

Taking into account the ratio of protein, fat and carbohydrates in low-fat salad dressing and sauces, the restriction conditions were formed:

1) for protein content:

$$\frac{\sum_{i=1}^9 p_i x_i}{100} \geq 10; \quad \frac{\sum_{i=1}^9 p_i x_i}{100} \leq 30; \quad (7)$$

3) for fat content:

$$\frac{\sum_{i=1}^9 f_i x_i}{100} \geq 20; \quad \frac{\sum_{i=1}^9 f_i x_i}{100} \leq 35; \quad (8)$$

3) for carbohydrate content:

$$\frac{\sum_{i=1}^9 c_i x_i}{100} \geq 45; \quad \frac{\sum_{i=1}^9 c_i x_i}{100} \leq 65, \quad (9)$$

where p_i , f_i , c_i — coefficients, which are equal to the content of protein, fat and carbohydrates in 100 g of salad dressing ingredients (Tables 4—6), %; 10, 30 — restriction on the protein content per 100 g salad dressing, %; 20, 35 — restriction on the fat content per 100 g salad dressing, %; 45, 65 — restriction on the carbohydrate content per 100 g salad dressing, %.

Optimization of salad dressing recipes was carried out according to the mathematical model, which was implemented using Mathcad 14 software.

Table 4. Coefficients of restriction conditions on protein content

Salad dressings	Coefficients of restriction conditions on protein content p_i								
	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9
S1	22.1	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	25.8	23.9	0.0
S2	22.1	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	25.8	23.9	7.7
S3	22.1	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	25.8	23.9	6.7
S4	22.1	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	25.8	23.9	7.8
S5	22.1	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	25.8	23.9	4.2

Table 5. Coefficients of restriction conditions on fat content

Salad dressings	Coefficients of restriction conditions on fat content f_i								
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9
S1	2.5	99.9	0.5	0.0	0.0	0.0	30.8	5.0	0.0

S2	2.5	99.9	0.5	0.0	0.0	0.0	30.8	5.0	2.1
S3	2.5	99.9	0.5	0.0	0.0	0.0	30.8	5.0	1.0
S4	2.5	99.9	0.5	0.0	0.0	0.0	30.8	5.0	0.6
S5	2.5	99.9	0.5	0.0	0.0	0.0	30.8	5.0	0.0

Table 6. Coefficients of restriction conditions on carbohydrate content

Salad dressings	Coefficients of restriction conditions on carbohydrate content c_i								
	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8	c_9
S1	59.9	0.0	7.0	0.0	99.8	0.0	23.4	19.3	0.0
S2	59.9	0.0	7.0	0.0	99.8	0.0	23.4	19.3	87.0
S3	59.9	0.0	7.0	0.0	99.8	0.0	23.4	19.3	31.7
S4	59.9	0.0	7.0	0.0	99.8	0.0	23.4	19.3	49.2
S5	59.9	0.0	7.0	0.0	99.8	0.0	23.4	19.3	62.2

Preparation of salad dressing samples. Common white beans were soaked in filtered water (300 ml of water were added to 100 g of bean seeds) for 10 h at 20 °C the soaked seeds were drained (Kutoš, Golob, Kač, & Plestenjak, 2003). Soaked beans were cooked in fresh filtered water (volume ratio of beans to water being 1:4, boiling water temperature — 98...100 °C) until they became suitable for consumption (approx. 90 min). Cooked beans were drained, and dried on a paper towel. Oat milk was added to the cooked beans and grounded with an electric hand mixer (Braun Minipimer 3 / MultiQuick 3 MQ 3038) to a homogeneous mass (approx. 3 min). Then, recipe ingredients were added to the bean semi-finished product and mixed with a hand mixer for 2 min.

Sensory analysis. The sensory indicators of the salad dressings samples such as consistency and appearance, taste, smell and color were determined according to the international standard ISO 13299:2016. Sensory analysis was carried out by seven experts. They evaluated the salad dressing samples using a numerical scale from 1 to 5 (5 points — the quality is excellent; 4 points — the quality is good; 3 points — the quality is satisfactory; 2 points — the quality is poor quality (barely acceptable); 1 point — the quality is very poor). The average value of sensory indicators was calculated. Sensory profiles of bean salad dressing with plant-based ingredients were created.

Quality assessment method. The quality index of salad dressing samples was determined by an expert method (Pudovkin, 2021). The weighting coefficient of each sensory indicator of salad dressing samples was calculated.

Physicochemical indicators of salad dressings measurements. Physicochemical indicators of salad dressings, which were prepared according to optimized recipes, were determined. Fat content of salad dressings was determined by the Soxhlet method (Carpenter, 2010). Moisture content and titratable acidity were determined according to AOAC official methods (AOAC, 1995). All experiments were replicated three times. All the statistical analysis was conducted using the Mathcad 14 software.

Results and discussion. In Table 7, the optimization results of salad dressing recipes are presented. In the salad dressings, cooked common beans content, which are plant-based sources of protein, is about 69.7...72.8 wt.%. In Table 8, calculated nutrient and

caloric content of salad dressings are presented. Developed salad dressings are low-calorie foods, as their caloric content is about 411.7...413.7 kcal per 100 g of product. Due to the sunflower oil content of 18.5%, salad dressings are low-fat products.

Table 7. Optimization results of salad dressing recipes

Ingredients	Marking of ingredients	Ingredient mass per 100 g of salad dressing, g (or wt.%)				
		S1	S2	S3	S4	S5
Cooked common bean	x_1	72.8	69.7	71.8	71.2	70.7
Sunflower oil	x_2	18.15	18.15	18.15	18.15	18.15
Oat milk	x_3	6.3	7.4	5.3	5.9	6.4
Acetic acid solution 9%	x_4	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Sugar	x_5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Salt	x_6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Mustard (seeds)	x_7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Dried dill	x_8	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Blueberry powder	x_9	-	2.0	-	-	-
Currant powder	x_9	-	-	2.0	-	-
Carrot powder	x_9	-	-	-	2.0	-
Chicory soluble	x_9	-	-	-	-	2.0

Table 8. Calculated nutrient and caloric content per 100 g of salad dressings

Salad dressing	Nutrient content per 100 g of salad dressing, % (or wt.%)			Caloric content z_{min} , kcal
	Protein	Fat	Carbohydrates	
S1	16.2	20.0	45.0	413.7
S2	15.7	20.0	45.0	411.7
S3	16.2	20.0	46.1	413.3
S4	16.0	20.0	45.8	412.9
S5	15.9	20.0	45.5	412.2

In Table 9, results of evaluating the sensory indicators of salad dressings are presented. All salad dressings have a uniform consistency of thick purée with splashes of ground mustard seeds and dry dill. The taste, aroma and color (Fig. 1) of salad dressings depend on the ingredients.

According to the sensory indicators such as consistency and appearance, smell and color, salad dressing S1 be awarded with higher scores than other developed salad dressings (Fig. 2). The salad dressing with freeze-dried currant powder (S3) has the best taste among others.

Table 9. Results of evaluating the sensory indicators of salad dressings

Sensory indicators	Model compositions of salad dressing				
	S1	S2	S3	S4	S5
Consistency and appearance	uniform and thick purée texture with splashes of mustard and dill	uniform and thick purée texture with splashes of mustard and dill	uniform and thick purée texture with splashes of mustard and dill	uniform and thick purée texture with splashes of mustard and dill	uniform and thick purée texture with splashes of mustard and dill
Taste	delicate, noticeable bean taste	pleasant, noticeable berry taste, slightly sour, not spicy	pleasant, noticeable berry taste, slightly sour, not spicy	pleasant, noticeable vegetable taste, not spicy	pleasant, noticeable chicory taste, slightly spicy
Smell	pleasant, light smell of spices	pleasant, berry aroma with sour	pleasant, berry aroma with sour	no pronounced aroma	pleasant, light coffee aroma
Color	cream	pearl violet	pastel violet	light ivory	ochre brown

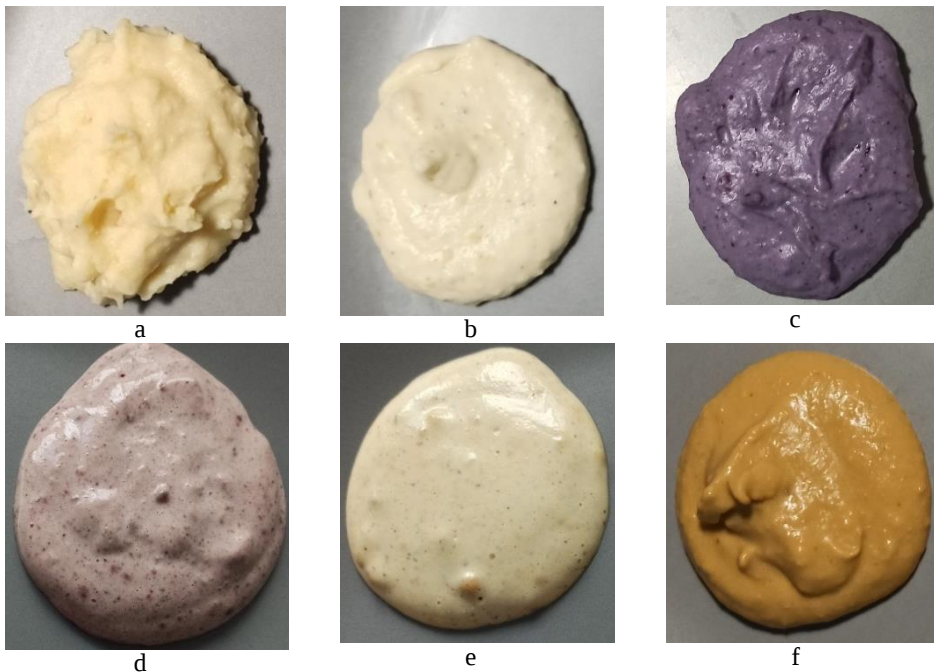


Figure 1. Model compositions of salad dressing: a — bean semi-finished product; b — salad dressing S1; c — salad dressing S2; d — salad dressing S3; e — salad dressing S4; f — salad dressing S5

Corresponding to the results of quality assessment, the weighting coefficients of organoleptic properties of salad dressings are as follows: for consistency and appearance is 0.36; for taste is 0.34; for smell is 0.2; for color is 0.1. For salad dressings, consistency and appearance, and taste are the most important sensory indicators. The quality indexes

of salad dressings are as follows: for salad dressing S1 is 0.919; for salad dressing S2 is 0.795; for salad dressing S3 is 0.851; for salad dressing S4 is 0.828; for salad dressing S5 is 0.875. So, model compositions S1 and S5 are better than other proposed salad dressings.

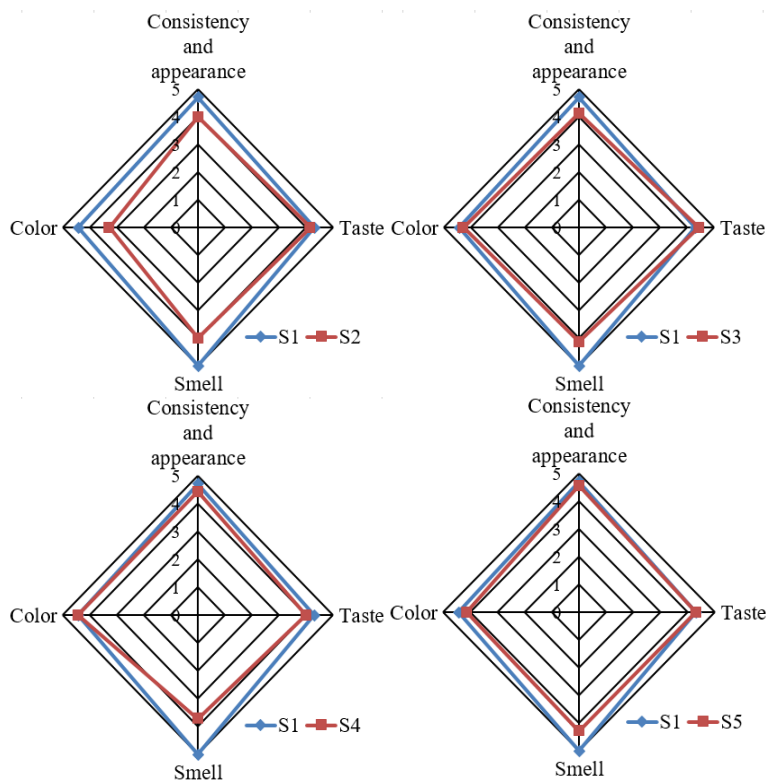


Figure 2. Sensory profiles of salad dressings

In Table 10, physicochemical indicators of salad dressings are presented. The titratable acidity of salad dressing S1 is lower than titratable acidity of dressings that contain plant powders and chicory soluble. The moisture content of salad dressings is varied between 54.8...56.0%. Moreover, salad dressings with freeze-dried plant powder and chicory have a lower moisture content. The fat content in salad dressings, which was obtained experimentally, is the same as that calculated according to the mathematical model.

The proposed salad dressings are analogues of traditional mayonnaise. They have similar sensory indicators to traditional mayonnaise. But salad dressings with plant-based ingredients are significantly lower in fat (20%) than mayonnaise, which contains 70...80% fat (Gorji, Smyth, Sharma, & Fitzgerald, 2016). The caloric content of the developed salad dressings is also lower than the caloric content of traditional mayonnaise, which is about 680 kcal.

Traditional mayonnaise contain egg, which is animal-based product. Instead, salad dressings contain only plant-based ingredients, excluding the acetic acid solution. Also, they contain oat milk and freeze-dried berry and vegetable powders, as well as chicory,

which enrich them with useful vitamins, minerals. The developed salad dressings comply with the recommended content of useful nutrients (proteins, fats, carbohydrates) for the human body. Salad dressings with plant-based ingredients can be recommended to anyone who follows a healthy diet. But developed salad dressings contain ingredients such as mustard seeds and oat milk that can cause allergic reactions.

Table 10. Physicochemical indicators of salad dressings

Physicochemical indicators	Indicator value of salad dressings				
	S1	S2	S3	S4	S5
Titrateable acidity in terms of acetic acid, %	0.11±0.02	0.15±0.02	0.16±0.02	0.14±0.01	0.18±0.02
Moisture content, %	56.0±0.3	55.1±0.3	54.8±0.2	54.8±0.4	54.9±0.3
Fat content, %	20.00±0.03	19.93±0.04	19.98±0.03	19.96±0.02	19.95±0.03

Conclusions

Using the developed mathematical model, recipes of salad dressings with plant-based ingredients such as common beans, oat milk, freeze-dried plant powders, and chicory are optimized. Caloric content of salad dressings is varied between 411.7...413.7 kcal, which is significantly lower than the caloric content of traditional mayonnaise. The fat content of developed salad dressings is about 20%, so they can be classified as low-fat products. According to sensory indicators, salad dressings without plant powders and with chicory soluble are the best. But, use of freeze-dried berry and vegetable powders as additives permit to expand the range of salad dressings, enrich them with useful nutrients and satisfy the taste preferences of different categories of consumers. Further research of the influence of different types of plant milk on sensory and physicochemical indicators of salad dressings are relevant.

References

- Abbas, Z. K., Saggu, S., Sakeran, M. I., Zidan, N., Rehman, H., & Ansari, A. A. (2015). Phytochemical, antioxidant and mineral composition of hydroalcoholic extract of chicory (*Cichorium intybus* L.) leaves. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(3), 322—326. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.11.015>.
- AOAC. (1995). Official methods of analysis of the association of analytical chemists (15th edn). Washington, DC: AOAC.
- Athmaselvi, K. A., Kumar, C., Balasubramanian, M., & Ishita Roy. (2014). Thermal, structural, and physical properties of freeze dried tropical fruit powder. *Journal of Food Processing*, 2014, 524705. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/524705>.
- Aziz, M. G., Yusof, Y. A., Blanchard, C., Saifullah, M., Farahnaky, A., & Scheiling, G. (2018). Material properties and tableting of fruit powders. *Food Engineering Reviews*, 10(2), 66—80. <https://doi.org/10.1007/s12393-018-9175-0>.
- Byarugaba, R., Nabubuya, A., & Muyonga, J. (2020). Descriptive sensory analysis and consumer preferences of bean sauces. *Food Science & Nutrition*, 8, 4252—4265. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1721>.

- Carpenter, C. (2010). Determination of fat content. In: Nielsen, S. S. (eds). *Food Analysis Laboratory Manual. Food Science Texts Series*. Boston, MA: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1463-7_4.
- Chigwedere, C. M., Tadele, W. W., Yi, J., Wibowo, S., Kebede, B. T., Van Loey, A. M. ... Hendrickx, M. E. (2018). Insight into the evolution of flavor compounds during cooking of common beans utilizing a headspace untargeted fingerprinting approach. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.080>.
- Collard, K. M., & Mc Cormick, D. P. (2021). A nutritional comparison of cow's milk and alternative milk products. *Academic Pediatrics*, 21(6), 1067—1069. <https://doi.org/10.1016/j.acap.2020.12.007>.
- De Melo, A. N. F., de Souza, E. L., da Silva Araujo, V. B., & Magnani, M. (2015). Stability, nutritional and sensory characteristics of French salad dressing made with mannoprotein from spent brewer's yeast. *LWT — Food Science and Technology*, 62(1), 771—774. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.050>.
- Drulyte, D., & Orlie, V. (2019). The effect of processing on digestion of legume proteins. *Foods*, 8(6), 224. <https://doi.org/10.3390/foods8060224>.
- Fernandes, A. C., Nishida, W., & Da Costa Proença, R. P. (2010). Influence of soaking on the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cooked with or without the soaking water: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(11), 2209—2218. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02395.x>.
- Ferreira, A. S. T., Naozuka, J., Kelmer, G. A. R., & Oliveira, P. V. (2014). Effects of the domestic cooking on elemental chemical composition of beans species (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Processing*, 2014, 1—6. <https://doi.org/10.1155/2014/972508>.
- Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzman, N. E., Gonzalez-Laredo, R. F., Ochoa-Martínez, L. A., Corzo, N., Bello-Perez, L. A. ... Peralta-Alvarez, L. E. (2010). Quality of spaghetti pasta containing Mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 119(4), 1544—1549. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.040>.
- Gaudel, N., Gaiani, C., Harshe, Y. M., Kammerhofer, J., Pouzot, M., Desobry, S., & Burgain, J. (2022). Reconstitution of fruit powders: A process — structure — function approach. *Journal of Food Engineering*, 315, 110800. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110800>.
- Gorji, S. G., Smyth, H. E., Sharma, M., & Fitzgerald, M. (2016). Lipid oxidation in mayonnaise and the role of natural antioxidants: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 88—102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.002>.
- Harnkamsujarit, N., & Charoenrein, S. (2011). Effect of water activity on sugar crystallization and β-carotene stability of freeze-dried mango powder. *Journal of Food Engineering*, 105(4), 592—598. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.026>.
- Hayat, I., Ahmad, A., Masud, T., Ahmed, A., & Bashir, S. (2013). Nutritional and Health Perspectives of Beans (*Phaseolus vulgaris*L.): An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(5), 580—592. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.59663>.
- Ismail, M. M. (2015). Which is better for humans, animal milk or vegetable milk? *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 2(5), 155—156. <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2015.02.00067>.
- ISO 13299:2016, Sensory analysis — Methodology — General guidance for establishing a sensory profile, IDT.
- Karam, M. C., Petit, J., Zimmer, D., Baudelaire Djantou, E., & Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering*, 188, 32—49. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.001>.
- Kerksick, C. M. (2019). Requirements of proteins, carbohydrates, and fats for athletes. In Debasis Bagchi, Sreejayan Nair, Chandan K. Sen (Ed.), *Nutrition and Enhanced Sports Performance*, 443—459. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813922-6.00038-2>.
- Kwon, Y.-J., Lee, H. S., Park, J.-Y., & Lee, J.-W. (2020). Associating intake proportion of carbohydrate, fat, and protein with all-cause mortality in Korean adults. *Nutrients*, 12(10), 3208. <https://doi.org/10.3390/nu12103208>.

- Kutoš, T., Golob, T., Kač, M., & Plestenjak, A. (2003). Dietary fibre content of dry and processed beans. *Food Chemistry*, 80(2), 231—235. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(02\)00258-3](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(02)00258-3).
- Liu, Y., Zhang, Z., & Hu, L. (2022). High efficient freeze-drying technology in food industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(12), 3370—3388. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1865261>.
- Ma, Z., & Boye, J. I. (2013). Advances in the design and production of reduced-fat and reduced-cholesterol salad dressing and mayonnaise: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 648—670. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-1000-9>.
- Ma, Z., Boye, J. I., Azamia, S., & Simpson, B. K. (2016). Volatile flavor profile of saskatchewan grown pulses as affected by different thermal processing treatments. *International Journal of Food Properties*, 19(10), 2251—2271. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1121494>.
- Martínez-Ballesta, M. C., Domínguez-Perles, R., Moreno, D. A., Muries, B., Alcaraz-López, C., Bastías, E. ... Carvajal, M. (2010). Minerals in plant food: effect of agricultural practices and role in human health. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(2), 295—309. <https://doi.org/10.1051/agro/2009022>.
- Mba, O. I., Kwofie, E. M., & Ngadi, M. (2019). Kinetic modelling of polyphenol degradation during common beans soaking and cooking. *Heliyon*, 5(5), e01613. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01613>.
- Mishra, P. K., Tripathi, J., Gupta, S., & Variyar, P. S. (2017). Effect of cooking on aroma profile of red kidney beans (*Phaseolus vulgaris*) and correlation with sensory quality. *Food Chemistry*, 215, 401—409. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.149>.
- Murota, K. (2020). *Linear Programming. Computer Vision*. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03243-2_648-1.
- Nehir El, S., & Simsek, S. (2011). Food technological applications for optimal nutrition: an overview of opportunities for the food industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(1), 2—12. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00167.x>.
- Nyau, V. (2014). Nutraceutical perspectives and utilization of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.): A review. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 14(7), 9483—9496. <https://doi.org/10.18697/ajfand.66.12990>.
- Paul, A. A., Kumar, S., Kumar, V., & Sharma, R. (2020). Milk analog: plant based alternatives to conventional milk, production, potential and health concerns. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(18), 3005—3023. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1674243>.
- Pudovkin, O. P. (2021). Application of qualimetric methods for assessing quality of complex products. *Journal of Physics: Conference Series*, 1728 012018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1728/1/012018>.
- Rehman, Z., & Shah, W. H. (2005). Thermal heat processing effects on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *Food Chemistry*, 91(2), 327—331. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.019>.
- Reynoso-Camacho, R., Ramos-Gomez, M., & Loarca-Pina, G. (2006). Bioactive components in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Advances in Agricultural and Food Biotechnology*, 217—236.
- Sagar, V. R., & Suresh Kumar, P. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(1), 15—26. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0010-8>.
- Saifullah, M., Yusof, Y. A., Chin, N. L., & Aziz, M. G. (2016). Physicochemical and flow properties of fruit powder and their effect on the dissolution of fast dissolving fruit powder tablets. *Powder Technology*, 301, 396—404. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.06.035>.
- Salehi, F., & Aghajanzadeh, S. (2020). Effect of dried fruits and vegetables powder on cakes quality: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 95, 162—172. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.011>.
- Schmidt, B. M., Ilic, N., Poulev, A., & Raskin, I. (2007). Toxicological evaluation of a chicory root extract. *Food and Chemical Toxicology*, 45(7), 1131—1139. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.12.019>.

Suárez-Martínez, S. E., Ferriz-Martínez, R. A., Campos-Vega, R., Elton-Puente, J. E., de la Torre Carbot, K., & García-Gasca, T. (2016). Bean seeds: leading nutraceutical source for human health. *CyTA — Journal of Food*, 14(1), 131—137. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1063548>.

Tekin-Cakmak, Z. H., Karasu, S., Kayacan-Cakmakoglu, S., & Akman, P. K. (2021). Investigation of potential use of by-products from cold-press industry as natural fat replacers and functional ingredients in a low-fat salad dressing. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(8), 1—13. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15388>.

US Department of Health Human Services. (2019). US Department of Agriculture 2015—2020 Dietary Guidelines for Americans. US Department of Health Human Services: Washington, DC, USA.

Wainaina, I., Wafula, E., Sila, D., Kyomugasho, C., Grauwet, T., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2021). Thermal treatment of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.): Factors determining cooking time and its consequences for sensory and nutritional quality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 3690—3718. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12770>.

Wang, Q., & Cui, J. (2011). Perspectives and utilization technologies of chicory (*Cichorium intybus* L.): A review. *African Journal of Biotechnology*, 10(11), 1966—1977. <https://doi.org/10.5897/AJB10.587>.

WHO/FAO. (2003). Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Report of a joint WHO/FAO expert consultation. Geneva, World Health Organization. WHO Technical Report Series, No. 916.

Zamindar, N., Baghekhanda, M. S., Nasirpour, A., & Sheikhzeinoddin, M. (2011). Effect of line, soaking and cooking time on water absorption, texture and splitting of red kidney beans. *Journal of Food Science and Technology*, 50(1), 108—114. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0234-2>.

THE INFLUENCE OF PROCESSING CHERRY FRUITS WITH POLYSACCHARIDE COMPOSITIONS ON THE CONTENT OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

O. Vasylyshyna

Uman National University of Horticulture

Key words:

Cherry fruits

Storage

Ascorbic acid

Ascorbateperoxidase

Superoxidedismutase

Article history:

Received 06.03.2023

Received in revised form
21.03.2023

Accepted 07.04.2023

Corresponding author:

O. Vasylyshyna

E-mail:

elenamila@i.ua

ABSTRACT

Due to the significant use of preservatives and food additives, the demand for quality food products with the use of environmentally friendly additives based on polysaccharides is increasing. An urgent problem that needs to be solved is the preservation of freshness and the extension of the shelf life of fruits due to the use of film-forming compositions. The development of new technologies for the storage of fruit and vegetable products is conditioned by the law on limiting the circulation of plastic bags on the territory of Ukraine from 2022 year.

The article covers the issue of preserving the quality of cherry fruits, in particular the content of biologically active substances with the use of pre-treatment before storage of carrageenan solution. To carry out research, cherry fruits of "Alfa" and "Pamyat Artemenko" varieties were pre-immersed in carrageenan solutions, taken out, dried, placed in boxes, stored in a refrigerator at a temperature of 1.0 ± 0.5 °C and a relative humidity of $95.0 \pm 1\%$.

According to the conducted studies, after storage, the treatment of cherry fruits with a 2% carrageenan solution was the most effective, which made it possible to preserve the content of phenolic substances at 2145—2138 mg/100g, ascorbic acid at the level of 12.2—12.7%. Ascorbateperoxidase activity of cherry fruits decreased by 42.1—58.6%, the lowest activity of superoxidedismutase was observed in cherry fruits treated with 2% carrageenan solution — 9.5—11.1%. A close correlation dependence was found between the activity of ascorbateperoxidase and superoxidedismutase of cherry fruits and the regression equation was derived. The prospect for further research will be study the technology of primary processing of fruit and vegetable products.

ВПЛИВ ОБРОБКИ ПОЛІСАХАРИДНИМИ КОМПОЗИЦІЯМИ НА ВМІСТ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН ПЛОДІВ ВИШНІ

О. В. Василюшина

Уманський національний університет садівництва

Через значне використання консервантів і харчових добавок нині зростає попит на якісні харчові продукти з використанням екологічно чистих добавок на основі полісахаридів. Актуальною проблемою, яка потребує вирішення, є збереження свіжості і подовження терміну придатності плодів завдяки використанню плівкоутворюючих композицій. Розроблення нових технологій зберігання плодовоовочевої продукції обумовлено законом про обмеження обігу пластикових пакетів на території України з 2022 року.

У статті висвітлено питання збереження якості плодів вишні, зокрема вмісту біологічно активних речовин із застосуванням попередньої обробки перед зберіганням розчину карагенану. Вивчено вплив обробки на ферментативну активність плодів вишні. Для проведення досліджень плоди вишні сортів Альфа і Пам'ять Артеменка сортували,мили, закладали на зберігання: без обробки (контроль), оброблені сумішшю розчинів 0,6% гліцерину і карагенану 1% та 2% концентрації. Плоди вишні попередньо занурювали в розчини карагенану, виймали, обсушували, поміщали в ящики, зберігали в холодильнику за температури $1,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ і відносної вологості повітря $95,0 \pm 1,0\%$.

Після зберігання найефективнішою виявилась обробка плодів вишні 2% розчином карагенану, що дало змогу зберегти вміст фенольних речовин на 2145—2138 мг/100г, аскорбінової кислоти на рівні 12,2—12,7%. Активність аскорбатпероксидази плодів вишні знизилась на 42,1—58,6%, найменшу активність супероксиддисмутази спостерігали в плодах вишні, оброблених 2% розчином карагенану — 9,5—11,1%. Між активністю аскорбатпероксидази та супероксиддисмутази плодів вишні знайдено тісну кореляційну залежність і виведено рівняння регресії. Перспективою подальших досліджень буде проведення досліджень з технології первинної обробки плодовоовочевої продукції.

Ключові слова: плоди вишні, зберігання, аскорбінова кислота, аскорбатпероксидаза, супероксиддисмутаза.

Постановка проблеми. Попит споживачів на якісні харчові продукти з мінімальним вмістом консервантів і тривалим терміном зберігання постійно зростає (Dominguez-Martinez та ін., 2017; Hassan, Chatha, Hussain, Zia, & Akhtar, 2018). Збереження свіжості і подовження терміну придатності плодів є актуальною проблемою харчової промисловості. За оцінками ВООЗ, кожна десята людина у світі приблизно раз на рік хворіє через споживання харчових продуктів, що не відповідають мікробіологічним нормам (Baldwin, Nisperos-Carriedo, & Baker, 1995). З метою подовження терміну зберігання плодовоовочевої продукції та захисту від мікробіологічних втрат необхідне удосконалення післязбиральних технологій обробки і зберігання. Одним із напрямків вирішення цієї проблеми є використання плівкоутворюючих композицій. Нині в Україні майже відсутні ефективні засоби

заміни існуючих упаковок на біорозкладальні матеріали. Розробка інноваційних технологій у галузі зберігання плодоовочевої продукції зумовлена директивою Європейського парламенту (94/62/ЄС від 2016 р.) про скорочення використання пакувальних матеріалів до 2025 р. та закону про обмеження обігу пластикових пакетів на території України з 2022 р. (законопроект № 2051-І від 18.09.2019). Тому розробка матеріалозамінних, екологічних, недорогих засобів пакування у поєднанні з технологією зберігання плодів, зокрема вишні із застосуванням плівкоутворюючих композицій, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Плоди вишні починають псуватися вже на етапі збирання та зберігання, що спричиняє значні втрати продукції. Разом з тим вони мають значний вміст біологічно активних речовин: фенольних, антоціанів, дубильних і барвних речовин, вітамінів.

Майже 25—45% плодів втрачається на шляху перевезення і зберігання в результаті перестигання, розм'якшення, втрат маси, розвитку хвороб і мікробіологічного псування (Baldwin, Nisperos-Carriedo, & Baker, 1995; Golding, 2017; Lakatos та ін., 2014). Важливим чинником, що запобігає мікробіологічному псуванню плодів, є їхнє правильне зберігання та пакування (Valero, 2017; Costa, 2019; Zhao, Liu, Zhang, Cao, & Jiang, 2019).

Існуючі засоби захисту рослин негативно впливають на навколишнє середовище, оскільки передбачають використання синтетичних пакувальних матеріалів, які не розкладаються (Maftoonazad, & Badii, 2009; Dominguez-Martinez та ін., 2017). Використання синтетичних плівок, через їх нерозчинність, спричиняє значне екологічне забруднення (Дубініна, Летута, Новікова, & Фролова, 2016; Василишина, 2020). Вирішенням цього питання є використання їстівних біорозкладальних плівок і покриттів з природних речовин, що біологічно розкладаються, наносяться тонким шаром на плоди та забезпечують захист від вологи й газовий бар'єр.

Згідно з Директивою ЄС №95/2/ЄС 1995 р. та Регламенту ЄС 1333/ 2008 р. їстівні покриття складаються з харчових інгредієнтів, харчових добавок, речовин, що знаходяться в прямому контакті з харчовими продуктами, або упаковками для харчових продуктів. Вони включені до їстівної частини продуктів і тому повинні відповідати всім регламентованим вимогам до компонентів, що містяться в їжі.

Нині існує низка поточних інновацій і розробок для збереження якості плодів. До них належать застосування природних сполук, їстівні покриття та плівки, активна упаковка, нанотехнології тощо (Yaman, & Bayindirli, 2001; Vargas та ін., 2009; Lopez-Rubio, Fabra, Martinez-Sanz, Mendoza, & Vuong, 2017; Romanazzi Feliziani, Bautista, & Sivakumar, 2017).

Серед різних типів біодеградабельної упаковки їстівні покриття і плівки є об'єктом нового напрямку досліджень. Нині основними плівкоутворювальними компонентами в складі їстівної упаковки є білки (колаген, желатин, зеїн, глютен, соєві ізоляти, казеїн), жири (ацетогліцериди, гліцериди, жирні кислоти) і вуглеводи (крохмаль, хітозан, альгінати, карагенан, пектин, полісахариди) (Avella та ін., 2005; Vargas, Pastor, Chiralt, Clements, & Gonzalez Martínez, 2009; Merino, Casalengué, & Ivarez, 2017).

За прогнозом американської консалтингової групи Innovative Research and Products (IRAP), обсяг світового ринку наноупаковок для харчових продуктів буде

збільшуватися. Використання таких упаковок обіцяє і збільшення строків зберігання харчових продуктів і зменшення відходів.

Перспективними є матеріали з додатковими функціями — «їстівні», бактерицидні упаковки (розчиняються у воді і розкладаються під впливом мікроорганізмів), ті, що швидко і безпечно розкладаються в природі, тощо (Conte, Scrocco, Lecce, Mastromatteo, & Nobile, 2009; Баль-Прилипко, Леонова, Толок, & Брона, 2016).

Використання біодеградабельних плівок не завдає шкоди навколишньому середовищу (Maftoonazad, & Badii, 2009; Dominguez-Martinez та ін., 2017). Однак виготовлені з одного компонента, вони мають недоліки механічних і бар'єрних властивостей, тому включення в рецептуру двох або більше сполук покращують функціональні властивості плівок і покриттів (Dominguez-Martinez та ін., 2017).

Розробка покриттів із харчових речовин — це найновіша технологія, призначена для збереження якості продукції. Нанесення їстівних покриттів на плоди може зберегти їхню якість і споживчу цінність (Ncama, Magwaza, Mditshwa, & Tesfay, 2018).

Їстівні покриття здатні зберегти якість харчових продуктів, продовжити строк зберігання та підвищити економічну ефективність пакувальних матеріалів. За даними літератури (Azeredo, 2012) воскові покриття використовували для затримки випаровування вологи цитрусових, зокрема лимонів, в Китаї ще в XII столітті. У 1930 р. були розроблені емульсії оливи й воску для поліпшення зовнішнього вигляду, контролю за досяганням і затримки втрат води. Розплавлені парафінові воски стають комерційно доступні як їстівні покриття для свіжих яблук і груш. Ще в XV ст. в Японії була виготовлена їстівна плівка із соєвого молока для консервування їжі.

Карагенан — природний полісахарид ірландського моху (*Chondrus Crisp*) і окремих видів червоних водоростей, які утворюють гелі при низьких концентраціях у воді (Wani, Singh, Gul, Wani, & Langowski, 2014; Гурський, Маренкова, Бідюк, & Перцевой, 2015; Бідюк, Душенюк, Перцевой, & Маренкова, 2018) та використовують для зберігання плодів (Meindrawan, Suyatma, Wardana, & Pamela, 2018).

Мета дослідження: встановлення впливу розчину карагенану на вміст біологічно активних речовин плодів вишні.

Матеріали і методи. Для експериментальних досліджень впродовж 2019—2020 рр. відбирали плоди вишні сортів Альфа і Пам'ять Артеменка одного кольору, які сортували, мили та висушували.

Дослідні зразки покривали розчином, до складу якого входив карагенан (1—2 г/100 мл розчину), гліцерин (0,6 г/100 мл розчину) за варіантами: без обробки (контроль) та оброблені розчинами гліцерину 0,6% і карагенану 1% та 2% концентрації.

Для розчинення суміш розчину карагенану нагрівали при температурі 80 °C протягом 30 хв, охолоджували. В розчин занурювали плоди вишні, витримували 1—2 хв, виймали, давали стекти, обсушували. Дослідні та контрольні зразки плодів зберігали за температури 1,0±0,5 °C і відносної вологості повітря 95,0±1,0%.

Визначення вмісту аскорбінової кислоти в плодах вишні проводили в трикратній повторюваності (ДСТУ 7803:2015). Вміст фенольних речовин визначали

за ДСТУ 4373:2005, активність ферментів аскорбатпероксидази та супероксиддисмутази, поліфенолоксидази — за (Сердюк та ін., 2020). Математичну обробку даних проводили за В. Ф. Мойсейченком (1992) на персональному комп'ютері у програмі Excel 2000.

Результати і обговорення. Біологічно активні речовини — це сполуки, які внаслідок своїх фізико-хімічних властивостей мають певну специфічну активність і виконують або впливають, змінюють каталітичну (ферменти, вітаміни, коферменти), енергетичну, пластичну, регуляторну або іншу функцію в організмі.

Фенольні сполуки — один з найбільш розповсюджених і найчисленніших класів природних сполук, які володіють біологічною активністю (Сімахіна, Стеценко, & Науменко, 2016).

Біологічна цінність плодів вишні визначається вмістом фенольних речовин, антоціанів, вітамінів, аскорбінової кислоти. Вміст фенольних речовин у плодах вишні сорту Альфа та Пам'ять Артеменка знаходився на рівні 2272 і 2282 мг/г. Протягом зберігання у всіх варіантах він знизився на 6,0—6,3% та залишався стабільним у плодах, оброблених 2% розчином карагенану (2145—2138 мг/100г) (рис. 1).

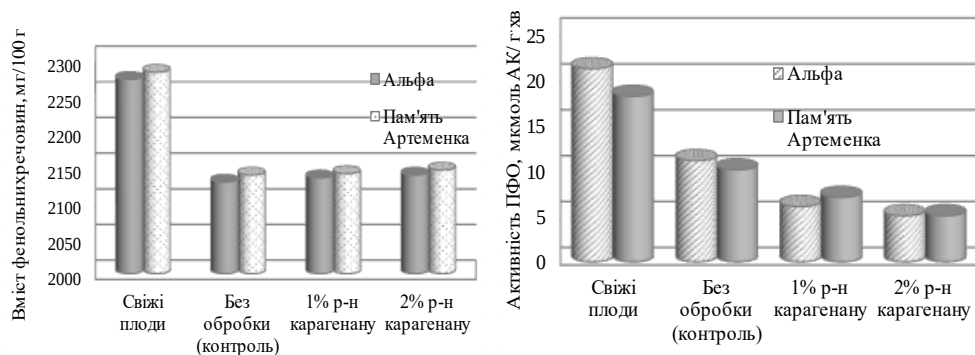


Рис. 1. Зміна вмісту фенольних речовин та активності поліфенолоксидази в плодах вишні сортів Альфа та Пам'ять Артеменка на кінець зберігання, $HP_{05} = 8,2$

Фермент поліфенолоксидаза відіграє важливу роль у ферментативному окисненні та зміні кольору плодів і шляхом каталізу й утворення продуктів фенольного окиснення формує захисний щит від ураження хворобами плодів (Xianghong, Guo-Zheng, & Shiping, 2010). Разом із зниженням фенольних речовин відбулися зниження ферментативної активності поліфенолоксидази — на 44,0—47,6% у контрольних і на 61,0—76,2% в оброблених плодах вишні протягом зберігання. Одержані дані подібні до результатів досліджень (Xiao-yu, 2019), де зазначається, що активність поліфенолоксидази у плодах кісточкових, покритих розчином альгінату натрію, була нижчою, порівняно з необробленим контролем.

Вміст аскорбінової кислоти в плодах вишні складає 20 мг/100г (Costa, 2019) і залежить від сорту та способу зберігання плодів (рис. 2). За результатами досліджень протягом зберігання плодів вишні її вміст у контрольному варіанті через 15 діб знизився на 36,3—37,5%. В оброблених плодах втрати її вмісту за цей

період були менші — 24,7—30,5% (сорт Альфа) та 21,8—25,5% (сорт Пам'ять Артеменка).

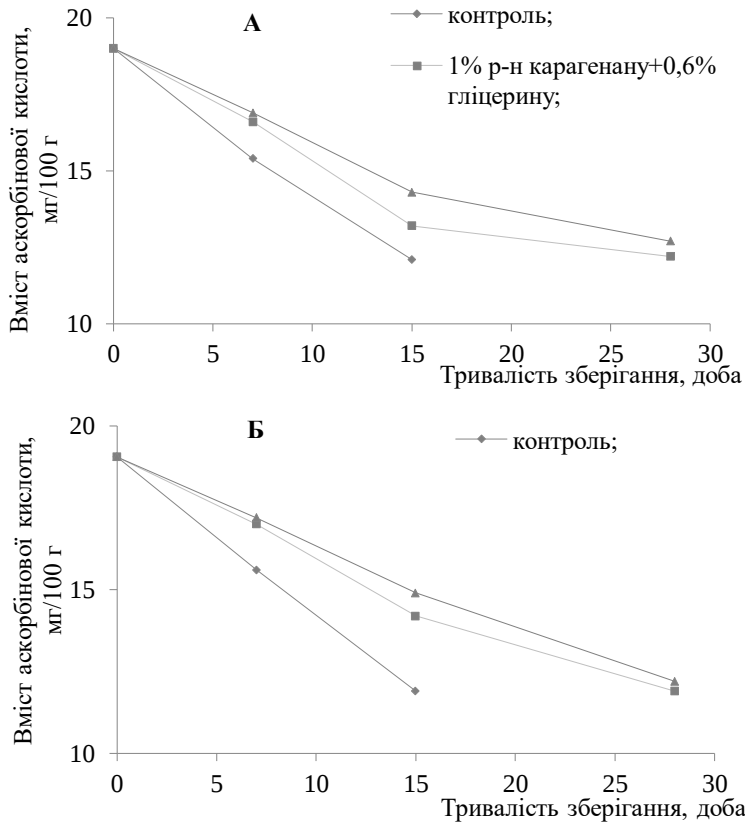


Рис. 2. Динаміка вмісту аскорбінової кислоти у плодах вишні сортів Альфа (А) і Пам'ять Артеменка (Б), оброблених карагенаном перед зберіганням, $\text{НІР}_{05} = 2,0$

Після 28 діб зберігання найбільш ефективною була обробка плодів 2% розчином карагенану (11,9—12,7 мг/100г) — 24,9—35,9%. Поряд зі змінами кількості аскорбінової кислоти відбулися зміни активності ферменту аскорбатпероксидази (рис. 3). Істотні зростання її активності спостерігали в плодах вишні, оброблених 1 і 2% розчином карагенану — на 31,4—44,3% і 18,4—26,3% відповідно через 15 діб, до кінця зберігання — на 42,1—58,6%.

Як видно з рис. 3, вміст аскорбінової кислоти протягом зберігання зменшився, тоді як активність аскорбатпероксидази (АПО) протягом усього періоду зберігання зростала. Варто зауважити, що активніше її накопичення проходило протягом семи-восьми діб зберігання і до кінця цього періоду було більш стабільним. На відміну до цього, в оброблених плодах вишні розчином карагенану, зростання АПО проходило протягом 10—15 діб для сорту Альфа, тоді як для сорту Пам'ять Артеменка було стабільним і до кінця зберігання інтенсивно збільшувалась.

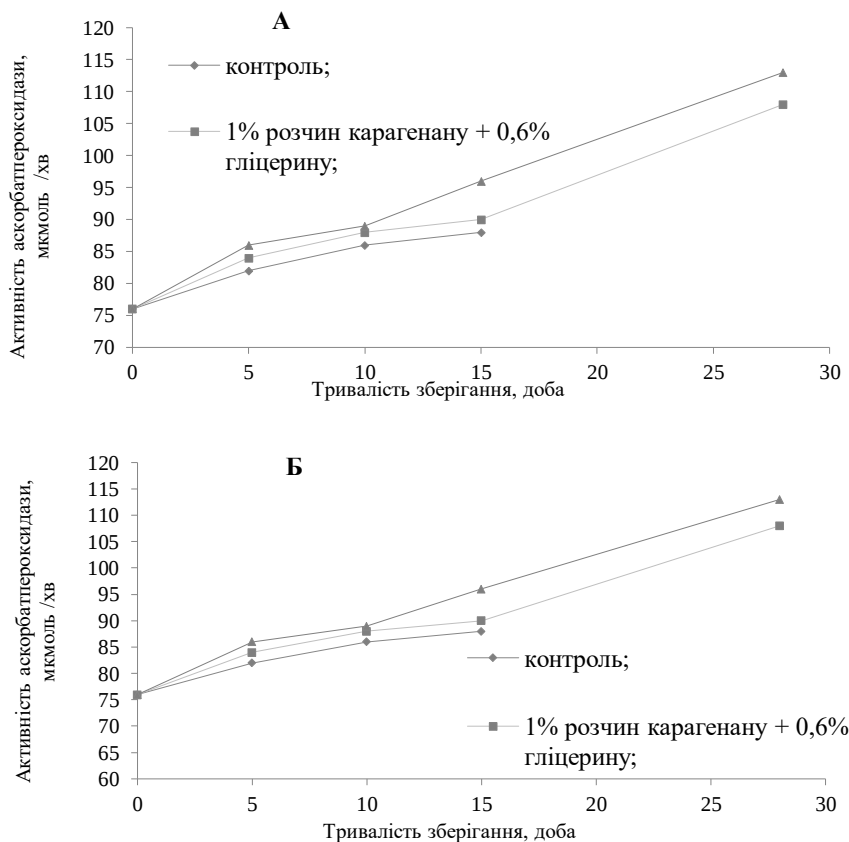


Рис. 3. Зміна активності ферменту аскорбатпероксидази в плодах вишні сортів Альфа (А) та Пам'ять Артеменка (Б), оброблених розчином карагенану перед зберіганням, $HP_{05} = 2,4$

У (Lin, Lasekan, Saari, & Khairunniza-Bejo, 2018) встановлено менші втрати фізико-хімічних компонентів, зокрема аскорбінової кислоти, протягом зберігання плодів, оброблених розчином карагенану, тому що на поверхні плодів утворюється напівпроникна плівка, яка є бар'єром для проходження кисню і діоксиду вуглецю в плодах.

Антиоксидантному стресу плодів протягом зберігання запобігає активність ферменту супероксиддисмутази (СОД), яка протягом зберігання плодів у контрольному варіанті знизилася на 16,7—20,0% (рис. 4).

Деякі менші зміни були в плодах вишні, оброблених 1 і 2% розчином карагенану — на 2,5—5,0% і 2,4—4,8% відповідно, до кінця зберігання — на 4,8—11,9%. Найменша активність (СОД) спостерігалася в плодах вишні, оброблених 2% розчином карагенану, — 9,5—11,1%. Подібні тенденції характерні для плодів суниці, оброблених алыгінатом натрію, що мали вищу антиоксидантну активність та активність супероксиддисмутази (Adiletta, Zampella, Mastrobuoni, Scortichini, & Petriccion, 2018).

Між активністю антиоксидантних ферментів встановлено сильні зв'язки та виведено рівняння регресії (рис. 5).

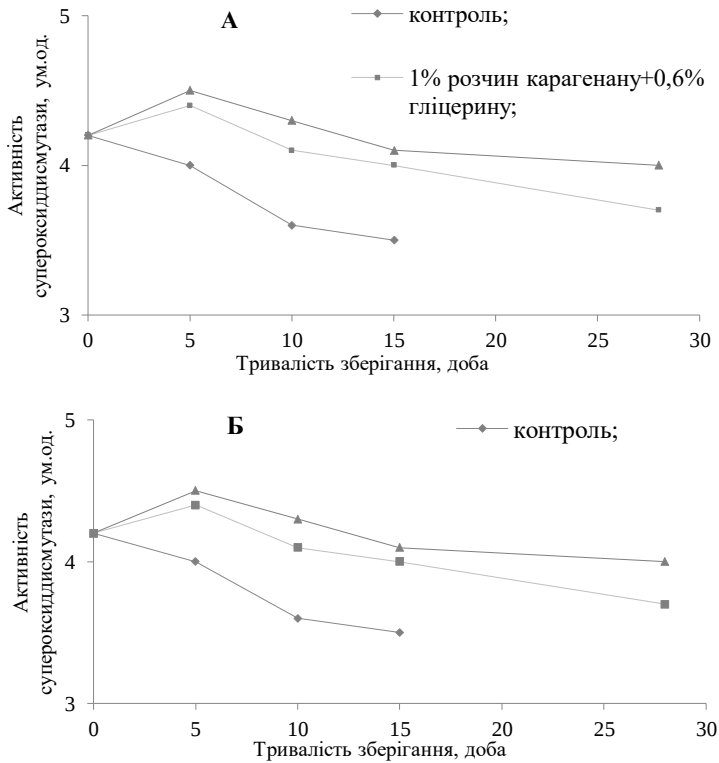


Рис. 4. Зміна ферменту супероксиддисмутази в плодах вишні сортів Альфа (А) та Пам'ять Артемьєнка (Б), оброблених розчином карагенану перед зберіганням, $HP_{05} = 0,2$

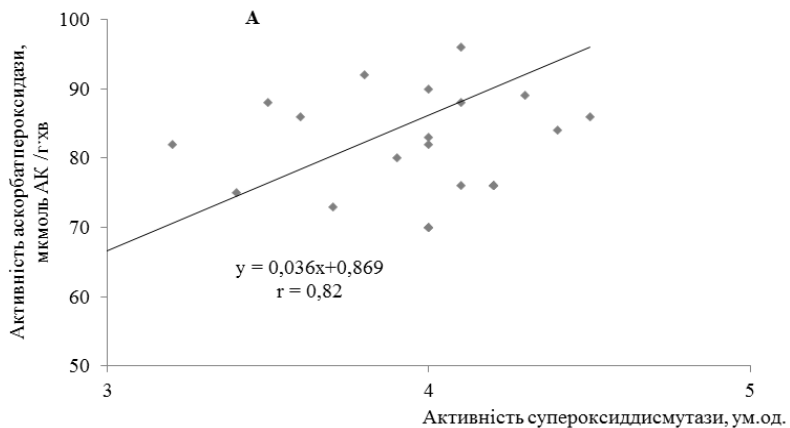


Рис. 5. Кореляційні залежності активності ферментів супероксиддисмутази від активності аскорбатпероксидази

Висновки

Отже, після зберігання найбільшу ефективність мала обробка плодів вишні 2% розчином карагану, де вміст фенольних речовин (2138—2145 мг/100г) та аскорбінової кислоти був найвищий і знизився на 6% і 24,9—35,9% відповідно. Активність ферменту аскорбатпероксидази на кінець зберігання найефективніша — 42,1—58,6%, а ферменту супероксиддисмутази в плодах вишні, оброблених 2% розчином карагану в цей період була найнижча — 9,5—11,1 %. Між активністю ферментів АПО і СОД встановлено сильні кореляційні зв'язки та виведено рівняння регресії.

Результати досліджень використовуватимуться для збереження якості плодів протягом зберігання та використання біорозкладального покриття безпечного для навколишнього середовища. Перспективою подальших досліджень буде поглиблення дослідження впливу попередньої обробки розчинами полісахаридів на якісні показники плодів вишні.

Література

- Баль-Прилипко, Л., Леонова, Б., Толок, Г., Брона, А. (2016). Роль упаковки у збереженні якості харчових продуктів. *Продовольча індустрія АПК*, 32—37. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Piark_2016_5_10.
- Бідюк, Д. О., Душенов, Д. К., Перцевой, Ф. В., Маренкова, Т. І. (2018). Обґрунтування технологічних параметрів отримання гелів на основі полісахаридів різного походження. *ВІСНИК НТУ «ХПІ»*, 9, 172—178. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.09.25>.
- Василишина, О. В. (2020). Зміна якості плодів вишні за попередньої обробки полісахаридними композиціями протягом зберігання. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 3, 13—20.
- Василишина, О. В. (2020). *Перспективи використання харчових плівок і покриттів у технології зберігання плодово-ягідної продукції*. І Міжнародна науково-практична конференція «Перспективи еко-інноваційного розвитку сільськогосподарського виробництва», Полтава. Взято з: http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/bitstream/123456789/8130/1/Thesis%20PSAA_22.06.20.pdf.
- Гурський, П. В., Маренкова, Т. І., Бідюк, Д. О., Перцевой, Ф. В. (2015). Дослідження впливу солей кальцію та калію різної природи на міцність гелів каппа-карагану. *Scientific Journal «Science Rise»*, 7/2(12), 14—19. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2015.45839>.
- Дубініна, А. А., Летута, Т. М., Новікова, В. В., Фролова, Т. В. (2016). Сучасний стан розвитку технологій зберігання плодів і овочів. *Молодий вчений*, 11 (38), 23—29. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv_2016_11_8.
- Мойсейченко, В. Ф. (1992). *Основи наукових досліджень у плодівництві, овочівництві, виноградарстві та технології зберігання плодовоовочевої продукції*. Київ: НМК ВО.
- Сердюк, М. Є., Прісс, О. П., Гапріндашвілі, Н. А., Здоровцева, Л. М., Сухаренко, О. І., Іванова, І. Є. (2020). *Дослідницький практикум. Методи дослідження плодовоовочевої та ягідної продукції*. Мелітополь: «Люкс».
- Сімахіна, Г. О., Стеценко, Н. О., Науменко, Н. В. (2016). *Біологічно активні речовини в харчових технологіях*. Київ: НУХТ. Взято з: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/29179>.
- Adiletta, G., Pasquariello, M. S., Zampella, L., Mastrobuoni, F., Scortichini, M., Petriccion, M. (2018). Chitosan Coating: a postharvest treatment to delay oxidative stress in loquat fruits during cold storage. *Agronomy*, 8, 54. <https://doi.org/10.3390/agronomy8040054>.
- Avella, M., Vlieger, J. J., Errico, M. E., Fischer, S., Vacca, P., Volpe, M. G. (2005). Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications. *Food Chemistry*, 93, 467—474. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.024>.

- Azeredo, H. M. C. (2012). Edible Coatings. *Advances in fruit processing technologies*. London-New York: Taylor & Francis Group, 345—356.
- Baldwin, E. A. Nisperos-Carriedo, M. O., Baker, R. A. (1995). Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. *Horticulture Science*, 199, 30(1), 35—38. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.30.1.35>.
- Conte, A., Scrocco, C., Lecce, L., Mastromatteo, M., Nobile, M. A. D. (2009). Ready-to-eat sweet cherries: Study on different packaging systems. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10, 564—571. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2008.12.005>.
- Costa, G. (2019). Fruit quality: updated definition and modern methods of assessment. *Review. Italus Hortus*, 26(1), 41—49. <http://doi: 10.26353/j.itahort/2019.1.4149>.
- Dominguez-Martinez, B. M., Martı́nez-Flores, H. E., Berrios, J. J., Otoni, C. G., Wood, D. F., Velazquez, G. (2017). Physical characterization of biodegradable films based on chitosan, polyvinyl alcohol and opuntia mucilage. *Journal of Polymers and the Environment*, 25(3), 683—691. <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0851-y>.
- Golding, J. (2017). Review of international best practice for postharvest management of sweet cherries, 92. Взято з: <https://www.cherrygrowers.org.au/assets/Review-of-international-best-practice-for-the-postharvest-management-of-sweet-cherries.pdf>.
- Hassan, B., Chatha, S. A. S., Hussain, A. I., Zia, K. M., Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1095—1107. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097>.
- Lakatos, L., Szabó, T., Szabó, Z. & Soltész, M., Nyéki, J., Sun, Z., Dussi, M. (2014). The influence of meteorological variables on sour cherry quality parameters. *Acta Horticulturae*, 1020, 287—292. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1020.41>.
- Lin, M. G., Lasekan, O., Saari, N., Khairunniza-Bejo, S. (2018). Effect of chitosan and carrageenan-based edible coatings on post-harvested longan (*Dimocarpus longan*) fruits CyTA. *Journal of Food*, 16(1), 490—497. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1414078>.
- Lopez-Rubio, A., Fabra, M. J., Martinez-Sanz, M., Mendoza, S., Vuong, Q. V. (2017). Biopolymer-based coatings and packaging structures for improved food quality. *Hindawi Journal of Food Quality*. <https://doi.org/10.1155/2017/2351832>.
- Maftoonazad, N., Badii, F. (2009). Useof edible films and coatings to extend the shelf life of food products. *Recent patents on food, nutrition & agriculture*, 1, 162—170. <https://doi.org/10.2174/2212798410901020162>.
- Meindrawan, B., Suyatma, N. E., Wardana, A. A., Pamela, V. Y. (2018). Nanocomposite coating based on carrageenan and ZnO nanoparticles to maintain the storage quality of mango. *Food Packaging Shelf*, 18, 140—146. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.10.006>.
- Merino, D., Casalongué, C., & Ivarez, V. (2017). *Polysaccharides as Eco-Nanomaterials for Agricultural Applications*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68255-6_124.
- Ncama, K., Magwaza, L. S., Mditshwa, A., Tesfay, S. Z. (2018). Plant-based edible coatings for managing postharvest quality of fresh horticultural produce: A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 16, 157—167. Взято з: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201900229529>.
- Romanazzi, G., Feliziani, E., Bautista, B. S., Sivakumar, D. (2017). Shelf life extension of fresh fruit and vegetables by chitosan treatment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57:3, 579—601. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.900474>.
- Valero, D. (2017). Maintenance of sweet cherry quality attributes as affected by innovative postharvest treatments. *Acta Horticulturae*, 1161, 475—482. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1161.76>.
- Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., Clements, J., Gonzalez Martínez, C. (2009). Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, 496—511. <https://doi.org/10.1080/10408390701537344>.
- Wani, A. A., Singh, P., Gul, K., Wani, M. H., Langowski, H. C. (2014). Sweet cherry (*Prunus avium*): Critical factors affecting the composition and shelf life. *Food packaging and shelf life*, 1, 86—99. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.01.005>.

Xianghong, M., Guo-Zheng, Q., Shiping, T. (2010). Influences of preharvest spraying *Cryptococcus laurentii* combined with postharvest chitosan coating on postharvest diseases and quality of table grapes in storage. *Lwt — Food Science and Technology*, 43, 596—601. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.10.007>.

Xiao-yu, L., Xiao-long, D., Ying, L., Lin-jing, T., Qian, W., Jian-long, L. (2019). Rhubarb extract incorporated into an alginate-based edible coating for peach preservation. *Scientia Horticulturae*, 257, 108685. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108685>.

Yaman O., Bayindirli L. (2001). Effects of an edible coating, fungicide and cold storage on microbial spoilage of cherries. *European Food Research and Technology*, 213, 53—55. <https://doi.org/10.1007/s002170100334>.

Zhao, H., Liu, B., Zhang, W., Cao, J., Jiang, W. (2019). Enhancement of quality and antioxidant metabolism of sweet cherry fruit by near-freezing temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, 147, 113—122. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.013>.

JUSTIFICATION OF THE COMPOSITION OF HIGH PROTEIN CONCENTRATE FOR INSTANT SOUPS**G. Simakhina, N. Naumenko, S. Kaminska, O. Mezhubovsky***National University of Food Technologies***Key words:**

Proteins
Amino acids
Concentrates
Multi-component compositions
Soups

Article history:

Received 07.03.2023
Received in revised form
24.03.2023
Accepted 06.04.2023

Corresponding author:

G. Simakhina
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Proteins are the most valuable components in human nutrition due to the various functions they do in the organism. Meantime, the dramatic population growth on the Earth would threaten humanity with scarcity of proteinaceous food. Traditional agricultural technologies of breeding animals and microbiological processes would not provide obtaining the proper amounts and proper quality of proteins as the obligatory food component. Therefore, the search for new sources of food proteins as the economically profitable and convenient objects to be processed into half products and foodstuffs with use of innovative technologies is gaining topicality.

By this day, industrial enterprises prefer soy and wheat proteins; however, the trend of studying the expedience of using the other grain and oil cultures, plant green mass, wild and cultivated mushrooms is rapidly proliferating. This article is dedicated to the studies of biochemical composition of cultivated mushrooms and the relevance to combine them with other high-protein materials (lentil flakes and linseed meal), in order to elaborate the concentrates for instant soups.

Combining of two or three multi-component protein fortifiers in the compositional mixtures would give the unique possibility to regulate the functional properties of the latter and thenceforth to make their usage as convenient and to expand the range of foodstuffs with increased amount of proteins, essential primarily. The usage of such compositions can be epitomized by instant soups, the old and highly developed sector of food concentrate market that promotes obtaining various dishes wholly. The most famous trademarks are Knorr, Lipton, Batchelors, Heinz, Mivina, Vegeta, and also many domestic producers in Ukraine.

Introduction of half products with balanced amino acid content and diverse functional purposes into food concentrate sphere is the topical challenge to updated food technologies, in particular foods for well-being.

ОБГРУНТУВАННЯ СКЛАДУ ВИСОКОБІЛКОВОГО КОНЦЕНТРАТУ ДЛЯ СУПІВ ШВИДКОГО ПРИГОТУВАННЯ

Г. О. Сімахіна, Н. В. Науменко, С. В. Камінська, О. М. Межубовський
Національний університет харчових технологій

Білки є найціннішим компонентом у харчуванні людини, оскільки виконують в організмі різноманітні важливі функції. Водночас збільшення чисельності населення на планеті вже сьогодні свідчить про загрозу прогресуючого дефіциту білкової їжі. Традиційні сільськогосподарські технології вирощування тварин, мікробіологічні процеси не забезпечують отримання білка як обов'язкового компонента їжі у належній кількості і повноцінного складу. Тому набуває актуальності пошук нових джерел рослинних білків як економічно вигідних і зручних об'єктів для перероблення на напівфабрикати та готові продукти із застосуванням інноваційних технологій.

Досі промисловість надає перевагу соєвим, пшеничним білкам, однак стрімко розвивається і напрям досліджень з вивчення доцільності використання як носіїв білка інших зернових та олієжирових культур, зеленої маси рослин, дикорослих і культивованих грибів. Саме вивченню біохімічного складу культивованих грибів, доцільності їх поєднання з іншими високобілковими матеріалами — пластівцями сочевиці та шроту льону, створенню на цій основі концентратів для супів швидкого приготування присвячено пропоновану статтю.

Таке поєднання у складі композиції двох чи трьох мультикомпонентних білкових збагачувачів надає унікальну можливість регулювати функціональні властивості цих композицій, створювати зручності у їх застосуванні та розширити спектр харчових продуктів з підвищеним вмістом білків, передусім есенціальних. Прикладом використання подібних композицій є супи швидкого приготування. Це давній і надзвичайно розвинений сектор ринку харчококонцентратів, який забезпечує отримання різних страв у повному обсязі. Відомими брендами є Knorr, Lipton, Batchelors, Heinz, Mivina, Vegeta, а також численні локальні виробники, у тому числі в Україні.

Введення до цієї сфери напівфабрикатів зі збалансованим амінокислотним складом і різнобічним функціональним спрямуванням є актуальним завданням сучасних харчових технологій, зокрема оздоровчих продуктів.

Ключові слова: білки, амінокислоти, концентрати, мультикомпонентні композиції, супи.

Постановка проблеми. Світовий досвід розвитку індустрії білковмісних продуктів, накопичені знання в галузі фундаментальних досліджень з хімічної природи, властивостей і структури білків, з одного боку, та зростаючі потреби організму в додаткових чинниках харчування — вітамінах, мінеральних елементах, міnorних сполуках (Nelson, & Cox, 2017), з другого, створили передумови для розвитку наукомістких процесів перероблення різноманітної рослинної сировини

на білковмісні продукти, напівфабрикати, дієтичні добавки, композити тощо (Martinez-Medina et al., 2021).

Здатність молекул білка до взаємодії з лецитином, пектинами та іншими полісахаридами, жирними кислотами, мінеральними сполуками харчових продуктів створює привабливі перспективи для формування широкого спектра з підвищеним вмістом білкової складової. Причому найважливішими чинниками, що визначають вибір сировини для перероблення, є масова частка і якісний склад білків, їх розподіл по фракціях щодо розчинності в різних середовищах, біологічна цінність білків порівняно з еталонним білком, рекомендованим FAO/BOOЗ, співвідношення вільних і зв'язаних амінокислот тощо (Dietary Protein, 2011).

Отримання композиційних сумішей з різних білковмісних рослинних джерел дає змогу на новому рівні використати можливості білкових сполук у регулюванні функціональної діяльності органів і систем живого організму, повніше реалізувати їхні унікальні властивості, створити нові види продуктів у різних агрегатних станах, наприклад у вигляді супів швидкого приготування (Colunga, 2020).

Сьогодні різноманітні напівфабрикати входять до сфери харчоконцентратної промисловості. Вони користуються широким попитом у споживачів, у закладах ресторанного господарства, готельному й туристичному бізнесі. Стосовно грибних напівфабрикатів, то більшість технологій їх виготовлення поєднують три основні операції: підготовка та перероблення грибної сировини; розроблення рецептур з використанням отриманих напівфабрикатів; пошук ефективних способів пакування.

Таких досліджень поки що дуже мало, тому цей напрям залишається актуальним і надає можливість кожному науковцеві внести свою частку в суму знань про культивовані гриби як надзвичайно цінне джерело харчового високоякісного білка.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За літературними даними, регулярне споживання культивованих грибів, зокрема печериць, що входять до складу готових харчових продуктів, значно збільшує вміст в організмі антиоксидантних маркерів та знижує рівень оксидативного стресу (Calvo et al., 2016; Stojković et al., 2014).

Біокомпоненти культивованих грибів чинять кардіопротекторну, протипухлинну, антидіабетичну, гепатопротекторну дію (Martinez-Medina et al., 2021; Sankeet, & Pravin, 2021). Вони органічно включаються в процеси метаболізму та не мають кумулятивної здатності (Medicinal, 2021). Комплекс гліуканів з білками грибів регулює вміст гліюкози в крові, а олігосахариди з пребіотичними властивостями активізують природну мікрофлору шлунково-кишкового тракту (Synytsia et al., 2009).

На основі істівних, у тому числі культивованих, грибів у харчовій та фармацевтичній промисловості за кордоном досить динамічно розвивається виробництво дієтичних добавок, лікарських препаратів, збагачених грибними білками харчових продуктів (Tardif, 2000).

Виробництво аналогічної продукції в Україні досі перебуває на етапі становлення. Серйозні дослідження проведено з використанням грибної сировини в технологіях м'ясних і м'ясомістких продуктів (Ястреба, & Пасічний, 2010; Пасічний, Жабіна, & Ястреба, 2010).

Разом з тим, убачаються великі перспективи в розробленні технологій нових білковмісних продуктів шляхом поєднання в одній композиції різних рослинних джерел білка з комплементарним амінокислотним складом (Сімахіна, & Науменко, 2020), наприклад на основі бобових культур і периферійних частин зерна пшениці, жита, ячменю, насіння льону тощо (крупка, висівки, лушпиння). Такі композиції матимуть підвищену біологічну цінність порівняно з білком однієї культури. Наприклад, за рахунок білка печериць і насіння льону вони будуть збагачені лізином, треоніном, лейцином (Simakhina, & Naumenko, 2022); матимуть добрі структурно-механічні та функціональні властивості, що забезпечуватиме ефективність їх використання в технологіях дієтичних добавок, функціональних та оздоровчих харчових продуктів, продуктів спеціального призначення, у виробництві кулінарної продукції та харчоконцентратів (Ященко, 2012).

З цієї точки зору вважаємо за доцільне розглянути як компоненти високобілкової композиції, поряд із грибним напівфабрикатом низькотемпературного сушіння (далі ГННС), боби сочевиці та шрот льону, які також є предметом дослідження зарубіжних і вітчизняних науковців. Загалом, зернобобові є важливим джерелом рослинного білка (Considine, Kadambot, & Foyer, 2017). За останні 50 років світове виробництво бобових зросло майже на 60%, а зернових — утричі (Huebbe, & Rimbach, 2020). Організація Об'єднаних Націй оголошувала 2016 рік Міжнародним роком зернобобових під девізом «Поживне насіння для сталого майбутнього», і бобові, передусім сочевицю, названо «суперфудом» (About, 2016).

Зелена революція потрібна також для забезпечення продовольчої та харчової безпеки в умовах глобальної зміни клімату. Зернобобові є безпрецедентним рішенням цієї проблеми через притаманну їм здатність до симбіотичної фіксації атмосферного азоту, що забезпечує економічно стійкі переваги для сільського господарства (Foyer et al., 2016).

Бобові — це низькоенергетична, насичена поживними речовинами їжа з низьким глікемічним індексом. Вони сприятливо впливають на контроль глікемії та ожиріння і традиційно рекомендуються медиками в дієті для діабетиків. Зокрема, в одному з досліджень показано, що заміна половини порції рису сочевицею привела до зниження рівня глюкози в крові до 20%, а заміна картоплі на сочевицю привела до його зниження на 35% (Moravek et al., 2018). У групі пацієнтів-діабетиків, які щодня споживали бобові, спостерігалось більше падіння рівня цукру у крові, ніж у тих, хто дотримувався здорової дієти із цільнозерновими.

Одним із чинників такої дії сочевиці є високий вміст марганцю. Цей мінерал зберігається в основному в кістках та основних органах, включаючи печінку, нирки і підшлункову залозу. Марганець відіграє також важливу роль у підтриманні нормального рівня цукру в крові та допомагає захистити організм від ушкодження вільними радикалами.

Часте споживання бобових, особливо сочевиці, може забезпечити переваги для профілактики діабету 2 типу в літніх людей з високим серцево-судинним ризиком (Becerra-Tomás et al., 2018). Тому Організація продовольства та сільського господарства ООН (FAO) рекомендує вживати їх щодня як частину здорової дієти, щоб запобігти хронічним захворюванням і боротися з ними, а також для вирішення зростаючих глобальних проблем ожиріння.

Науково підтверджено також позитивний вплив дієтичного втручання із залученням більшої кількості сочевиці для запобігання залізодефіцитних станів та ефективну дію сочевиці як пребіотики (Rajagukguk et al., 2021).

Привабливим джерелом білка та інших цінних біокомпонентів є також олійні культури. Винятково перспективним джерелом є використання вторинних продуктів переробки рослинної сировини для одержання харчового протеїну, а саме: шроту сої, соняшника, льону, амаранту тощо. Рослинні білки використовуються для поліпшення функціонально-технологічних показників готової продукції, а також у вигляді добавки до традиційних харчових систем з метою підвищення харчової та біологічної цінності.

Ляний білок зі шроту — лінулін, може задовольнити потреби технологів саме як функціональний збагачувач, хоча раніше шрот як вторинний продукт виробництва лляної олії використовували в основному на корм худобі.

В Україні також зростають обсяги використання льону через популяризацію цього генетично звичного для українців продукту. При цьому слід відзначити, що під час віджиму лляної олії лишається більше 65% шроту (Іжевська, 2019) із значним вмістом нутрієнтів, а відтак, є простір для творчості фахівців.

У білковій фракції лляного шроту виділено високий вміст ароматичних амінокислот, що виступають нейромедіаторами, покращують пам'ять, роботу печінки та підшлункової залози (Darhet, Klensporf-Pawlik, & Przybylsky, 2014).

Мета статті: обґрунтувати склад композиції з трьох рослинних мультикомпонентних джерел білка та отримати на її основі кулінарну страву з підвищеною білковою складовою (суп швидкого приготування).

Матеріали і методи. Досліджували порошкоподібний напівфабрикат печериць низькотемпературного сушіння, отриманий у лабораторних умовах за таких режимних параметрів: температура — 45°C, тривалість — 340 хв, залишкова вологість — 10—11%. Інші предмети дослідження: пластівці сочевиці за ДСТУ 6020:2008 та шрот льону за ДСТУ 8239:2015. Методи дослідження: органолептичні, фізико-хімічні. Вміст сухих речовин визначали за загальновідомою методикою за ДСТУ 7804:2015. Загальний вміст білків, якісний і кількісний склад амінокислот визначали за методикою (Redwejk et al., 2012) з використанням капілярного електрофорезу. Загальний вміст вуглеводів визначали методом іонного аналізу (Metrohm) за допомогою хроматографа Bioscan 817 фірми Metrohm. Для підготовки проби до аналізу гриби розтирають до отримання однорідної маси і вводять в автоматичний пробовідбірник хроматографа. Вміст клітковини визначали методом прямого вагового аналізу, сутність якого полягає в окисленні, руйнуванні та розчиненні різних хімічних сполук, крім клітковини, яку потім видаляють, висушують та зважують (Kumar, & Turner, 2015). Вміст золи визначали за ДСТУ ISO 2171:2009.

Викладення основних результатів дослідження. У табл. 1 за літературними даними (ДСТУ 6020:2008 та ДСТУ 8239:2015) наведено основні властивості сочевичних пластівців і лляного шроту, передбачених для комбінування з грибним порошком. Важливою характеристикою сочевичних пластівців є їхні виявлені структуроутворюючі властивості, що забезпечуватиме стабілізуючу здатність

швидкорозчинних супів та необхідні поверхнево-активні властивості без внесення додаткових харчових добавок, а отже, сприятиме оздоровчому ефекту продукту.

Слід також відзначити високу драглеутворювальну здатність лляного шроту, завдяки чому готовий продукт набуває оптимальної густої консистенції, усуваючи необхідність внесення штучних загущувачів, що також відповідає всім принципам здорового харчування.

Таблиця 1. Основні властивості складників високобілкової композиції

Функціональний збагачувач	Показники			
	Фізико-хімічні	Органолептичні	Мікробіологічні	Функціонально-технологічні
	1	2	3	4
Сочевичні пластівці ДСТУ 6020:2008	Товщина пластівців: 0,5 мм; кількість декстринів: 11,0%, вміст водорозчинних речовин: 17,0%, ступінь денатурації білків: 30% від вихідної кількості, насипна маса пластівців: 230 г/л	Однорідні, кремово-жовті; з вираженим смаком, властивим для бобових, без сторонніх присмаків; запах нейтральний; дрібні й тонкі пластівці за текстурою	КМАФАМ КУО/г: не більше $5 \cdot 10^3$; БГКП: до 0,01; патогенні, в т. ч. сальмонели: 25; <i>B. cereus</i> : 0,1; Плісняві гриби, КУО/г: 50	Основний структуруючий наповнювач продукту; нейтрально-бобовий смак
Лляний шрот ДСТУ 8239:2015	Вологість: 6...9%; Розмір часток: до 2 мм; зольність: до 1,5% включно	Колір сірий, допустимі різні відтінки; без сторонніх присмаків; запах притаманний силовині, відсутні підгорілі або гнилісні нотки	КМАФАМ КУО/г: не більше $5 \cdot 10^3$; БГКП: до 0,01; плісняві гриби, КУО/г: 50	Висока драглеутворювальна здатність, що дозволяє підвищити на 25...30% консистенцію супу порівняно з аналогами; надає оригінального присмаку готовому продукту

У табл. 2 та 3 наведено експериментальні дані з визначення мікробіологічних та органолептичних показників для грибних порошків низькотемпературного сушіння (45 °C).

Таблиця 2. Органолептичні показники порошків сушених печериць

Показники	Характеристики
Зовнішній вигляд	Тонкодисперсний (100-150 мкм) порошок вологістю 8...12%, без грудочок, однорідний
Смак та запах	Характерний для свіжих печериць, без сторонніх запаху та присмаку, приємний, ароматний
Колір	Від світло-кремового (якщо шапки відділені від ніжок) до коричневого з різними відтінками (якщо гриби висушуються як одне плодове тіло)
Текстура	Залежно від ступеня зрілості грибів, їх однорідності, і за оптимальних показників сипка, однорідна, без грудкування

До органолептичних характеристик слід ще додати, що за температури сушіння 45 °С за даними (Zhang et al., 2022) відбувається процес зв'язування летких компонентів (спиртів і кетонів: L-гексанол, 3-гектанол, 3-октанол, 3-октанон, L-октен), які надають специфічного грибного аромату напівфабрикатам та продуктам з їх використанням.

Важливим завданням є також забезпечення мікробіологічної безпеки напівфабрикатів як безпосередньо після їх отримання, так і в процесі зберігання. Досліджували кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів (МАФАНМ), бактерій групи кишкової палички (БГКП), сульфит-редукуючих клостридій, патогенної мікрофлори, в тому числі бактерій роду сальмонела, а також пліснявих грибів. Це всі показники загалом характеризують безпеку для споживачів грибного напівфабрикату та продуктів з його використанням.

Мікробіологічні показники визначали відразу після отримання порошку та через кожні 3 місяці протягом року. Результати дослідження наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Мікробіологічні показники напівфабрикату із сушених печериць упродовж зберігання

Показники	Гігієнічні нормативи	Мікробіологічні показники				
		Термін зберігання, місяці				
		0	3	6	9	12
МАФАНМ, КУО, г	$5,0 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^2$	$2,2 \cdot 10^2$	$4,6 \cdot 10^2$	$8,3 \cdot 10^2$	$5,8 \cdot 10^3$
БГКП (коліформи) в 0,1 г	не допускається	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
Плісені КУО/г	$5,0 \cdot 10^2$	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
Дріжджі КУО/г	$2,0 \cdot 10^2$	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	$1,0 \cdot 10^1$

З даних, наведених у табл. 3, видно, що патогенних мікроорганізмів, у тому числі бактерій роду *Salmonella* (у 25 г), не виявлено в порошок з досліджених зразків. Відсутні також бактерії групи кишкових паличок. Дріжджі виявлено лише у зразку, який зберігався протягом 12 місяців, однак їхня кількість значно менша від гігієнічного нормативу. Пліснявих грибів також не виявлено в жодному зразку.

Таким чином, досліджений напівфабрикат із сушених печериць має належні фізико-хімічні, технологічні, мікробіологічні та органолептичні показники і дає підстави прогнозувати його широке використання в різних галузях харчової промисловості, що апробується на створенні нової рецептури супу швидкого приготування з підвищеною білковою складовою.

На наступному етапі досліджень з використанням методу математичного моделювання обрано певні співвідношення між складовими нової рецептури супу «Шампінє» і дано їхню оцінку, передусім за органолептичними показниками, які наведено у табл. 4, порівняно з контрольним зразком (традиційний горохово-грибний суп Street Soup).

Таблиця 4. Органолептичні показники комбінованої суміші інгредієнтів супу швидкого приготування, гідратація 1:5

Показники	Характеристика показників				
	Контроль (Street Soup)	Досліджувані зразки			
		Співвідношення масових часток сочевиці (С), лляного шроту (Л) та грибного порошку (Г)			
		Рецептура I С: 85% Л: 5% Г: 10%	Рецептура II С: 60% Л: 20% Г: 20%	Рецептура III С: 55% Л: 10% Г: 35%	Рецептура IV С: 72,25% Л: 12,75% Г: 15%
Консистенція	Помірно густа, згідно з аналізом не відповідає назві «крем-суп»	Дуже рідка	Надмірно густа	Густа	Оптимально густа, підібране співвідношення інгредієнтів розкриває термін «крем-суп»
Колір	Світло-сірий із темними включеннями	Пісочний	Сіро-пісочний з темними включеннями	Темно-пісочний	Сірий з темними включеннями
Смак та запах	Переважає бобовий, з відповідним запахом	Нейтральний, з легким грибним присмаком та ароматом	Інтенсивний, важкий, переважно сочевичний	Сильний грибний смак та запах	Помірний, гармонійно поєднаний, властивий компонентам
Об'єм порції (при додаванні 250 мл води на 50 г концентрату)	300 мл	300 мл або менше, для покращення консистенції	300 мл та більше, для покращення консистенції	300 мл, можливе невеличке розведення	300 мл
Економічна доцільність	Ринково конкурентна	Відсутні бажані органолептичні характеристики	Відсутні бажані органолептичні характеристики	Економічно недоцільна — високий вміст грибів	Ринково обґрунтована

Згідно з даними табл. 4, оптимальною за органолептичними показниками виявилась рецептура IV з масовою часткою пластівців сочевиці, лляного шроту та грибного порошку у співвідношенні, відповідно, 72,25:12,75:15,0%.

Для вивчення кореляції між органолептичними та якісними показниками супу з підвищеною білковою складовою склали рецептури модельних зразків з різними масовими частками компонентів (табл. 5).

До складу рецептури ввели замість часнику сушену петрушку, враховуючи значну кількість у її складі білків (26 ± 2 г/100 г), харчових волокон (24 ± 2 г/100 г), мінерального залишку ($1,1 \pm 1$ г/100 г). Крім того, додавання сушеної петрушки з невеличкими вкрапленнями листя відповідає споживчим очікуванням «справжньої» їжі, як це підтверджено результатами власного контрольного опитування.

Заміна звичайної кухонної солі гімалайською привнесла до рецептури значну кількість мінеральних елементів, переважно в органічній, легкозасвоюваній формі.

Таблиця 5. Рецептури модельних зразків супу «Шампінсь» порівняно з контрольним зразком

Перелік компонентів	Масова частка компонентів у рецептурах, %				
	Контроль (Street Soup)	I	II	III	IV
Пластівці сочевиці	-	75,0	50,0	45,0	62,25
Шрот льону	-	5,0	20,0	10,0	12,75
Грибний напівфабрикат	5,0	10,0	20,0	35,0	15,0
Крупа горохова	85,0	—	—	—	—
Цибуля ріпчаста сушена	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Часник сушений	4,0	—	—	—	—
Петрушка сушена	-	4,0	4,0	4,0	4,0
Сіль кухонна	2,0	—	—	—	—
Сіль гімалайська	—	2,0	2,0	2,0	2,0

Примітка: для додаткового введення до рецептури прянощів частку пластівців сочевиці у кожному варіанті рецептур зменшуємо на 10% стосовно даних табл. 4.

Результати фізико-хімічних показників компонентів у складі нової рецептури супів наведено в табл. 6.

Таблиця 6. Залежність фізико-хімічних показників модельних зразків супу розроблених рецептур від масових часток інгредієнтів

Показники	Контрольний зразок (Street Soup)	Варіант рецептури			
		I	II	III	IV
Вміст СР, %	30,8	14,6	29,2	24,8	20,2
Вміст білка, %	14,2	23,2	24,9	27,6	25,8
Вміст вуглеводів, %	2,7	3,3	3,6	3,4	3,9
Вміст клітковини, %	0,8	1,9	2,2	2,2	2,4
Вміст золи, %	1,6	2,7	3,0	2,9	3,1
Енергетична цінність, кДж	805,4	778,4	724,7	695,5	688,5

З даних табл. 6 видно, що хімічний склад розроблених рецептур грибних супів неістотно відрізняється один від одного за вмістом основних біокомпонентів, і всі вони містять досить високі концентрації білків (від 23,2% до 27,6%), вуглеводів (від 3,3% до 3,9%), в тому числі клітковини (від 1,9% до 2,4%). Також незначні коливання енергетичної цінності — від 688,5 кДж до 778,4 кДж.

Разом з тим, встановлено явні переваги розроблених рецептур перед контрольним зразком, основними складовими якого є горохова крупа (85%) та грибний напівфабрикат (5%). Вміст СР у контрольному зразку дещо вищий, ніж у рецептурах II, III, IV, і вдвічі вищий порівняно зі зразком I. Ці дані узгоджуються з результатами органолептичних показників композиційних сумішей (табл. 4), де за рецептурою I консистенція суміші виявилась надто рідкою.

Спостерігається збільшення вмісту білка в розроблених супах у середньому на 38,8—48,5%; зростає вміст вуглеводів — на 18,2—30,8%, а також клітковини — на 58—67%, завдяки чому забезпечується належна вологоутримувальна та жирутримувальна здатність компонентів супу.

За рахунок заміни кухонної солі на гімалайську частка мінеральних елементів зросла на 40,8—48,4%.

Незначна різниця вмісту основних біокомпонентів у розроблених рецептурах пояснюється певними відмінностями в хімічному складі інгредієнтів — грибного напівфабрикату, пластівців сочевиці, шроту льону. Відповідно, отримання супів за кожною з чотирьох рецептур є науково обґрунтованим, і лише за органолептичними показниками перевага надається рецептурі IV.

Таким чином, поєднання в рецептурі супів запропонованих компонентів, яке ґрунтується на основних положеннях фізіології і біохімії харчування та наукових принципах комплементарії біологічно активних речовин сільськогосподарської сировини, надає можливість розширити спектр оздоровчих продуктів, передусім для подолання білкового дефіциту, і забезпечити потребу організму людини в основних нутрієнтах відповідно до фізіологічних потреб. Наприклад, з порцією розробленого супу швидкого приготування споживач отримає майже половину добової потреби (20—25 г білку), який до того ж відзначається високим ступенем засвоюваності.

Висновки

Сучасна біохімія та фізіологія мають незаперечні докази, що всі життєві процеси в організмі людини пов'язані з перетворенням і біотрансформацією протоплазматичних та ядерних білків на рівні клітин і тканин. Наділені надзвичайною реактивністю, білки здатні взаємодіяти з усіма без винятку речовинами, утворюючи комплексні сполуки, які складають основу клітин, тканин і рідин живого організму. Недостатнє надходження білків або окремих амінокислот з їжею призводить до білкової недостатності, спричиняючи в організмі серйозні порушення в результаті дисбалансу між синтезом і розпадом білків. Саме тому пошуки нових джерел білків, зокрема нетрадиційних, є на сьогодні актуальними. Одним із вирішень цієї проблеми є застосування культивованих грибів, які містять до 50% білків (на суху речовину) та інші цінні біокомпоненти.

За прогнозами вчених, у майбутньому 2/3 потреби людини в білках задовольнитиметься за рахунок промислового виробництва їстівних грибів. Уже зараз майже 80 країн світу в штучних умовах вирощують печерицю, гливу звичайну, шийтаке, опеньки літні та інші гриби. Вживання грибів підвищує імунітет людини до різних інфекцій, онкологічних захворювань, а також виявляє інші позитивні ефекти.

Досліджена композиція високобілкових культур — порошкоподібний напівфабрикат печериць низькотемпературного сушіння, пластівці сочевиці та шрот насіння льону, виявили більш значущу біологічну цінність, ніж кожна культура зокрема; у фракційному складі білків цієї композиції переважають легкозасвоювані водо- та солерозчинні фракції. З порцією супу швидкого приготування організм отримує 20—25 г повноцінного білка. Складові композиції у водному середовищі створюють необхідну консистенцію страви, її органолептичні показники.

Зважаючи на унікальні властивості білків рослинних культур, зокрема досліджених у цій статті, можна зробити однозначний висновок щодо перспектив подальших досліджень із розроблення технологій протеїнових концентратів, композицій інших білковмісних концентратів, розширення спектра білкових джерел для отримання збагачуючих напівфабрикатів тощо. Важливим буде також вивчення поведінки білків створених композицій у харчових системах, механізмів їхньої взаємодії та встановлення оптимальних параметрів виробництва.

Література

Дятлов, В. В., Попова, Н. А., Медведкова, И. И. (2011). Качество и безвредность шампиньонов при хранении. *Товарознавчий вісник*, 3, с. 95—103.

Іжевська, О. П. (2019). Дослідження ліпідів шроту насіння льону та перспектива використання його у м'ясних стравах. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*, 91(2).

Пасічний, В. М., Жабіна, О. В., Ястреба, Ю. А. (2010). Удосконалення технології виготовлення паштетних консервів з білковмісними наповнювачами. *Наукові праці ОНАХТ*, 38(2), 219—222.

Сімахіна, Г. О., Науменко, Н. В. (2020). Оптимальний підбір амінокислот для подолання білкового дефіциту. *Наукові праці НУХТ*, 5, 170—181.

Ястреба, Ю. А., Пасічний, В. М. (2010). Дослідження біологічної цінності порошкоподібного напівфабрикату з грибів глива звичайна. *Науковий вісник Львівської державної академії ветеринарної медицини ім. С. З. Гжицького*, 2, 124—129.

Ященко, О. В. (2012). Харчова та біологічна роль їстівних та лікарських грибів в харчуванні населення. *Гігієна населених місць*, 59, 234—240.

About the International Year of Pulses. Взято з: <https://www.fao.org/pulses-2016/about/en> (access date 09.02.2023).

Becerra-Tomás, N., Díaz-López, A., Rosique-Esteban, N., Ros, E., Buil-Cosiales, P., Corella, D., Estruch, R. (2018). Legume consumption is inversely associated with type 2 diabetes incidence in adults: A prospective assessment from the PREDIMED study. *Journal of Clinical Nutrition*, 37(3), 906—913. Взято з: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28392166/> (access date: 11.10.2022).

Calvo, M. S., Mehrotra, A., Beelman, R. B. et al. (2016). A Retrospective Study in Adults with Metabolic Syndrome: Diabetic Risk Factor Response to Daily Consumption of Agaricus bisporus (White Button Mushrooms). *Plant Foods for Human Nutrition*, 71, 245—251.

Colunga, A., Cruz-Hernandez, M. A., Losoya, C., Gonçalves, C. N. et al. (2020). Edible Mushrooms as a Novel Protein Source for Functional Foods. *Food & Function*, 11(9), 7400—7414.

Considine, M., Kadambot, H. M., Foyer, C. H. (2017). Nature's pulse power: legumes, food security and climate change. *Journal of Experimental Botany*, 68(8), 1815—1818.

Darthe, J. V., Klensporf-Pawlik, D. and Przybylsky, R. (2014). Antioxidant activity of flax seed meal components. *Canadian Journal of Plant Science*, 94(3), 593—602.

Dietary Protein Quality Evaluation in Human Nutrition (2011). *FAO Food and Nutrition Paper*, 31 March—2 April, 2011, Auckland, New Zealand, 92, 79.

Foyer, C. H., Lam Hon-Ming, Nguyen, H. T., Kadambot, H. M., Varshney, R. K. (2016). Neglecting legumes has compromised human health and sustainable food production. *Nature Plants*, 2, 16112. Взято з: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28221372/> (дата звернення: 13.10.2022).

Huebbe, P., Rimbach, G. (2020). Historical reflection of food processing and the role of legumes as part of healthy balanced diet. *Foods*, 98(8), 1056.

Kumar, M., Turner, S. (2015). Protocol: a medium-throughput determination of cellulose content from single stem pieces of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Methods*. 2015, 11. <https://doi.org/10.1186/s13007-015-0090-6>.

Martinez-Medina, G. A., Chávez-González, M. L., Kumar Verma, D. et al. (2021). Bio-funcional components in mushrooms, a health opportunity: Ergothionine and huitlacoche as recent trends. *Journal of Functional Foods*, 77, p. 104326. Взято з: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464620305508?via%3Dihub> (access date 07.01.2023).

Medicinal mushroom cultivation in China. Взято з: <https://www.indigo-herbs.co.uk/blog/medicinal-mushroom-cultivation-china> (access date 29.01.2023).

Metrohm IC: Determination of Carbohydrates by means of ion chromatography. Взято з: <https://www.metrohm.com/en-th/company/news/news-determination-of-carbohydrates-by-means-of-ion-chromatography/> (access date 29.01.2022).

Moravek, D., Duncan, A. M., Van der Sluis, L. B., Turkstra, S. J., Rogers, E. J., Wilson, J. M., Hawke, A., Ramdath, D. (2018). Carbohydrate Replacement of Rice or Potato with Lentils Reduces the Postprandial Glycemic Response in Healthy Adults in an Acute, Randomized, Crossover Trial. *The Journal of Nutrition*, 148(4), 535. DOI: 10.1093/jn/nxy018.

Nelson, D. L. & Cox, M. M. (2017). *Lehninger Principles of Biochemistry*. Springer.

Rajagukguk, Y. V., Marcellus, A., Gramza Michałowska, A. (2021). Pulse Probiotic Superfood as Iron Status Improvement Agent in Active Women — A Review. *Molecules*, 26(8), 2121. DOI: 10.3390/molecules26082121 (дата звернення: 14.10.2022).

Redweik, S., Xu, Yuanhong, Watzig, H. (2012). Precise, fast and flexible determination of protein interactions by affinity capillary electrophoresis, *Electrophoresis*. Nov.; 33(22), p. 3316—3322. Doi: 10.1002/elps.201200181.

Sanket, Sh., Pravin, B. (2021). In-silico study of *Agaricus Bisporus* on DNA damaging protein. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/354440643_In-silico_study_of_Agarics_Bisporus_on_DNA_damaging_protein (access date 01.02.2023).

Simakhina, G. O., Naumenko, N. V. (2022). Biological value of proteins of cultivated mushrooms. *Ukrainian Food Journal*, 11(1), 39—51.

Stojković, D., Reis, F. S., Glamočlija, J. et al. (2014). Cultivated strains of *Agaricus bisporus* and *A. brasiliensis*: chemical characterization and evaluation of antioxidant and antimicrobial properties for the final healthy product-natural preservatives in yoghurt. *Food & Function*, 5(7), 1602—1612. Взято з: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24881564/> (access date 07.10.2021).

Synytsya, A., Mickova, K., Synytsya, A. et al. (2009). Glucans from fruit bodies of cultivated mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*: Structure and potential prebiotic activity. *Carbohydrate Polymers*, 76(4), 548—555.

Tardif, A. (2000). *La mycotherapie ou les proprietes Medicinales des Champignons*. Paris.

Zhang, M., Xing, S., Fu, C. et al. (2022). Effects of Drying Methods on Taste Components and Flavor Characterization of *Cordyceps militaris*. *Foods*, 11(3933), 1—18. <https://doi.org/10.3390/foods11233933>.

THE EFFECT OF PUMPKIN CELLULOSE ON THE REDISTRIBUTION OF STRUCTURAL GROUPS IN WHEAT FLOUR DOUGH AND BREA

A. Shevchenko, S. Litvynchuk, O. Koval

National University of Food Technologies

Key words:

Pumpkin cellulose
Gluten
Conformational transformations
Structural element
Infrared spectroscopy

Article history:

Received 23.03.2023
Received in revised form 04.04.2023
Accepted 14.04.2023

Corresponding author:

A. Shevchenko
E-mail:
nastyusha8@ukr.net

ABSTRACT

Taking into account the recommendations of the FAO WHO to increase the proportion of dietary fiber in the diet, pumpkin products are a promising raw material for inclusion in the recipe of products of various industries, and particularly bakery industry.

The content of the main nutrients in pumpkin cellulose is much higher than in high-grade wheat flour: protein — 3.7 times (42% and 11.3%, respectively), dietary fiber — 9.1 times (32% and 3.5 %, respectively).

The main protein fraction of pumpkin cellulose is globulin, a slightly lower content is glutelin and albumin, and the content of the prolamin fraction is the lowest. About 87.4% of the total amount of pumpkin cellulose protein was extracted using solvent.

The infrared spectra of the dough of the control sample after kneading and the sample with the replacement of 5% of wheat flour with pumpkin cellulose are practically the same over the entire wavelength. In the wavelength range of 1700...1790 nm during fermentation, the spectra shifted significantly upwards, compared to the spectra of the samples after kneading, because pumpkin cellulose, due to its higher content of dietary fibers than wheat flour, as well as its higher water absorption and moisture retention capacity, contributes to less dilution of the dough during fermentation.

At a wavelength of 2100 nm, the spectra of the control and replacement dough samples after kneading were superimposed and had a spectral index of 0.46. During fermentation, conformational transformations occur in the structure of the protein matrix. There is a delay in the development of the gluten network due to the inclusion of pumpkin cellulose particles in the gluten frame of the dough.

In general, the spectra of samples with 15% replacement of wheat flour with pumpkin cellulose have a similar character to the spectra of samples with 5% replacement. Thus, the partial replacement of wheat flour with pumpkin cellulose in the recipe of wheat bread leads to changes in the structural elements of the dough and the structural and mechanical properties of the dough system and bread.

ВПЛИВ ГАРБУЗОВОЇ КЛІТКОВИНИ НА ПЕРЕРОЗПОДІЛ СТРУКТУРНИХ ГРУП У ТІСТІ ТА ХЛІБІ З ПШЕНИЧНОГО БОРОШНА

А. О. Шевченко, С. І. Літвинчук, О. В. Коваль

Національний університет харчових технологій

Зважаючи на рекомендації FAO ВООЗ збільшувати в раціоні харчування частки харчових волокон, перспективною сировиною для включення в рецептуру продуктів різних галузей, і хлібобулочної зокрема, є продукти з гарбуза.

Вміст основних нутрієнтів у гарбузовій клітковині набагато вищий, ніж у борошні пшеничного вищого сорту: білка — у 3,7 раза (42% та 11,3% відповідно), харчових волокон — у 9,1 раза (32% та 3,5% відповідно).

Основною білковою фракцією гарбузової клітковини є глобулін, децю менший вміст глютеліну та альбуміну, а вміст проламінової фракції найменший. Близько 87,4% від загальної кількості білка гарбузової клітковини екстрагували розчинником.

Інфрачервоні спектри тіста контрольного зразка після замішування і зразка із заміною 5% пшеничного борошна гарбузовою клітковиною практично збігаються по всій довжині хвиль. У діапазоні довжин хвиль 1700...1790 нм у процесі бродіння спектри значно змістились вгору, порівняно зі спектрами зразків після замішування, оскільки гарбузова клітковина завдяки вищому вмісту харчових волокон, ніж пшеничне борошно, а також вищій водопоглинальній і вологоутримувальній здатності сприяє меншому розрідженню тіста в процесі бродіння.

На довжині хвилі 2100 нм після замішування спектри зразків тіста контрольного та із заміною накладаються та мають спектральний індекс 0,46, а в процесі бродіння відбуваються конформаційні перетворення в структурі білкової матриці. Має місце затримка розвитку глютенкової мережі через включення частинок гарбузової клітковини в клейковинний каркас тіста.

Загалом, спектри зразків із заміною 15% пшеничного борошна гарбузовою клітковиною мають схожий характер зі спектрами зразків із заміною 5%. Отже, часткова заміна пшеничного борошна гарбузовою клітковиною в рецептурі пшеничного хліба призводить до зміни структурних елементів тіста і структурно-механічні властивостей тістової системи та хліба.

Ключові слова: хліб, гарбузова клітковина, клейковина, конформаційні перетворення, структурний елемент, інфрачервона спектроскопія.

Постановка проблеми. У наш час популяризація вживання рафінованої продукції призвела до зменшення частки основних нутрієнтів, які надходять в організм з їжею. Експертами FAO ВООЗ рекомендовано збільшувати кількість харчових волокон у раціоні. Зважаючи на використання очищеної сировини, зокрема в технології хлібопекарського виробництва, постала проблема включення харчових волокон у рецептуру виробів. Рішенням може бути збагачення хліба

шляхом внесення сировини, багатой на харчові волокна, до рецептури хлібобулочних виробів. З цієї точки зору цінною сировиною є гарбуз та продукти його переробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У технології хлібобулочного виробництва застосовують гарбуз у нативному вигляді та продукти його переробки. Було досліджено показники якості гарбуза, який піддавали мікрохвильовій вакуумній сушці, та можливість його застосування у виробництві пшеничного хліба. Показники якості гарбуза в нативному вигляді становили: вміст редукуючих цукрів — 2,40 г, вітаміну С — 0,26 г, каротиноїдів — 0,50 мг % (у сухій речовині). Застосовували такі технологічні параметри сушіння гарбуза у вакуумній мікрохвильовій сушарці: тиск (70—50 мм рт. ст.), швидкість трамблера — 6 об/хв, один робочий цикл. Під час сушіння гарбузів спостерігалось зниження таких показників: вміст води — у 10,5 разів, вміст вітаміну С — у 2,0 рази, збільшення значення жовтизни в 1,5 рази. Оптимальна кількість додавання сушеного гарбуза до пшеничного тіста становила 10% від загальної кількості борошна. Зразок пшеничного хліба з добавкою сушених гарбузів багатший на каротиноїди та цукри порівняно з контрольним зразком пшеничного хліба. Результати сенсорного аналізу з використанням гедонічної оцінки показали, що вище був оцінений смак зразка хліба з добавкою сушеного гарбуза порівняно з контрольним зразком пшеничного хліба (Rakcejeva, Galoburda, Cude, & Strautniece, 2011).

У технології хлібобулочного виробництва відомо застосування гарбузової м'якоти. Визначали вплив додавання свіжої м'якоти гарбуза безпосередньо в пшеничне борошно на фізичні, органолептичні та біологічні властивості хліба. Також досліджували біодоступність активних сполук. Збільшення додавання м'якоти гарбуза з 5 до 20% (у перерахунку на суху речовину) спричинило зменшення об'єму хліба та підвищення твердості м'якушки. Органолептичні характеристики хліба показали, що часткова заміна пшеничного борошна на м'якоть гарбуза до 10% дала задовільний результат, а додавання більшої кількості спричиняло неприємний аромат і смак. М'якоть гарбуза є гарною сировиною для збагачення хліба потенційно біодоступними фенолами (включаючи флавоноїди) і, особливо, пептидами. Найвищу антиоксидантну активність спостерігали у зразках з додаванням 10 та 15% м'якоти гарбуза. Додавання м'якоти значно збагатило хліб потенційно біодоступними інгібіторами ангіотензинперетворювального ферменту (АПФ). Найбільшу активність виявили у хлібі з 15 і 20% м'якоти гарбуза. Інгібітори АПФ були високо біодоступними *in vitro*. Крім того, м'якоть гарбуза є відходами після отримання насіння, тому використання її як добавки також має екологічний та економічний ефект з огляду на вектори стратегії сталого розвитку виробництва (Różyło та ін., 2014).

Було проведено дослідження, спрямоване на оцінку впливу часткової заміни 5—20% пшеничного борошна гарбузовим на фізичні властивості та клітинну структуру гарбузового хліба. Оцінено фізичні властивості та клітинну структуру хліба. Питомий об'єм хліба суттєво зменшувався при 10% та більшому ступені заміни гарбузовим борошном. Гарбузове борошно не вплинуло на текстуру збагаченого хліба порівняно з контрольним зразком. Внесення гарбузового борошна значно вплинуло на клітинну структуру хліба, за винятком щільності м'якушки. Середня площа пор збагаченого хліба була меншою, ніж у контрольного хліба.

Внесення 20% гарбузового борошна значно збільшило площу пор хліба, тому раціональним є використання гарбузового борошна менше 10% при виготовленні хліба (Wahyono та ін., 2018).

Дослідження інших науковців з визначення впливу гарбузового борошна на фізико-хімічні характеристики хліба показало, що при збільшенні рівня заміни з 5% до 15% пшеничного борошна гарбузовим збільшувався вміст золи та сирової клітковини. Проте відбулося значне зниження питомого об'єму хліба, тому раціональним відсотком внесення гарбузового борошна є 5% (See, Wan Nadiah, & Noor Aziah, 2007).

Визначали вплив порошку солодкого гарбуза на фізико-хімічні властивості хліба. Ліофілізований солодкий гарбуз подрібнили, просіяли через лабораторне сито і відібрали фракцію з частинками менше 250 мкм. Було виявлено, що кількість гарбузового порошку, доданого до хліба, впливає на його якість. Збагачення цією сировиною пшеничного хліба зменшило об'єм хліба без істотних змін вмісту вологи. З додаванням порошку спостерігалися характерні зміни кольору (Yoo, Seog, & Lee, 2006).

У науковій літературі знайдено небагато інформації щодо впливу гарбузової клітковини як побічного продукту переробки гарбуза на властивості тіста та хліба з пшеничного борошна.

Мета статті: визначити відмінності фракційного складу білків борошна пшеничного та гарбузової клітковини і дослідити вплив клітковини на конформаційні зміни в структурних одиницях пшеничного тіста та хліба.

Матеріали і методи. *Масова частка загального білка.* Для визначення масової частки білка в сировині застосовували метод К'ельдаля: пробу мінералізували, після чого отриманий розчин титрували. Для мінералізації 1 г сировини гідролізували 15 мл концентрованої сірчаної кислоти протягом 2 год при 420 °С в присутності мідного каталізатора. Отриманий розчин охолоджували, додавали дистильовану воду, проводили нейтралізацію й титрування. Кількість білка розраховували з урахуванням концентрації азоту в сировині. Дані виражали у г білків на 100 г борошна (Shevchenko, & Litvynchuk, 2022).

Вміст харчових волокон. Для визначення загального вмісту харчових волокон у сировині застосовували ферментативно-гравіметричний метод. 50 г сировини подрібнюють у млині, щоб частки проходили крізь отвори сита 0,5 мм. Увесь подрібнений матеріал переносять у пластикову банку з широким горлом, закривають і перемішують. $1,000 \pm 0,005$ г зразка точно зважують у скляну пляшку Dugan R. В неї ж вносять 1,0 мл етанолу і 40 мл суміші панкреатичної α -амілази. Закупорені пляшки поміщають у струшувальну інкубаційну ванну. Реакційні розчини інкубують зі швидкістю 150 об/хв при 37 °С протягом 16 годин. Додають 3,0 мл 0,75 М розчину основи Trizma, щоб припинити реакцію. Після цього пляшки поміщають на водяну баню при 95—100 °С та інкубують протягом 20 хвилин. Пляшку охолоджують до 60 °С, додають 0,1 мл розчину протеази та інкубують при 60 °С протягом 30 хвилин. Після цього додають 4,0 мл 2 М оцтової кислоти для досягнення рН $4,3 \pm 0,3$. Визначають вміст низькомолекулярних і високомолекулярних розчинних харчових волокон та їхню суму. Паралельно роблять не менше трьох досліджень (Mc Cleary та ін. 2010; Shevchenko, Drobot, & Galenko, 2022).

Фракційний склад білка. Для підготовки зразка гарбузову клітковину просівали через сітчасте сито для отримання дрібного порошку. Сировину знежирювали пентаном. Суспензію клітковина-розчинник змішували у співвідношенні 1:10 мас/об протягом 24 год, потім розчинник видаляли центрифугуванням.

Визначення фракційного складу білка проводили методом диференціальної екстракції за Осборном. Відповідно до методу білки гарбузової клітковини фракціонували зі знежиреної пентаном сировини (Horax, Hettiarachchy, Over, Chen, & Gbur, 2010). Суспензії гарбузової клітковини і води (20 г сировини в 100 мл деіонізованої води) змішували протягом 2 год при кімнатній температурі та центрифугували при 20000 об/хв протягом 30 хв, щоб відокремити супернатант від осаду й отримати деіонізований водний екстракт. Ті ж умови для екстракції/розділення зберігалися для наступних етапів екстракції білка. Осад водного екстракту поміщали в 100 мл 1 М розчину NaCl і змішували, як зазначено вище. Супернатант, одержаний після центрифугування, екстрагували 100 мл деіонізованої води при pH=1 0,5 М розчином NaOH, що призводило до отримання лужного екстракту. Екстрагування проводили двічі, після чого двічі промивали 20 мл розчинника для збору залишкового білка, захопленого нерозчинними залишками. Отримані екстракти осаджували для виділення, доводячи pH отриманого супернатанту до pH, що відповідає мінімальній розчинності (pH_{ms}), визначеній за допомогою експерименту з визначення каламутності (Reziga et al., 2013). Значення pH регулювали 1 М розчинами NaOH або 1 М HCl у лужному або кислому середовищі відповідно. Після центрифугування протягом 15 хв при 15000 об/хв білковий осад двічі промивали деіонізованою водою при відповідних pH_{ms} і знову центрифугували. Отримані білкові фракції повторно розчиняли, доводячи pH до 7,0 і ліофілізували (Reziga, Riaublanc, Chouaibi, Guéguen, & Hamdi, 2015).

Інфрачервона спектроскопія в ближній інфрачервоній області. Спектроскопію проводили на спектрометрі Infrapid (Labor-Mim, Угорщина). Спектри відбивання від подрібнених зразків з гладкою поверхнею досліджували в ближньому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль від 1330 до 2370 нм. Спектрометр реєстрував спектр відбиття від досліджуваного зразка та від еталона ІО. Спектри представлені як відбиваюча здатність R у відносних одиницях (співвідношення інтенсивностей $I/I_0=R$), залежно від довжини хвилі в нм (Litvynchuk et al., 2022; Niewietzki, Tillmann, Becker, & Möllers, 2010). Іntenсивність відбивання вимірювали в тісті після замішування і після 3,5 год бродіння і в хлібі. Виразали інтенсивність відбивання через перерахунок відносного коефіцієнта відбивання до спектрального індексу (Yip, Gausemeier, Sande, & Dyrstad, 2012).

Статистичний аналіз. Представлені дані являють собою середнє арифметичне значення трьох повторів $\pm$ стандартне відхилення. Графічне представлення експериментальних даних здійснювали за допомогою пакета стандартних програм статистичної обробки Microsoft Excel 2010.

Викладення основних результатів дослідження. Гарбузова клітковина є побічним продуктом виробництва гарбузового борошна. Вміст основних нутрієнтів в ній набагато вищий, ніж у борошні пшеничному вищого сорту: білка — у 3,7 раза (42% та 11,3% відповідно), харчових волокон — у 9,1 раза (32% та 3,5% відповідно). Така різниця буде впливати на властивості тістової системи в процесі

виготовлення хлібобулочних виробів, зокрема через різне співвідношення білкових фракцій у цій сировині (табл. 1).

Таблиця 1. Фракційний склад білків гарбузової клітковини та пшеничного борошна

Масова частка білків (г/100г)	Пшеничне борошно	Гарбузова клітковина
Альбуміни	5,4±0,21	13,8±0,32
Глобуліни	9,9±0,34	49,2±1,61
Глютеліни	27,1±0,78	20,3±0,74
Проламіни	43,1±1,12	4,1±0,16
Нерозчинні білки	14,5±0,46	12,6±0,41

Отримані результати свідчать про те, що основною білковою фракцією гарбузової клітковини є глобулін, дещо менший вміст глютеліну та альбуміну, а вміст проламінової фракції найменший. Близько 87,4% від загальної кількості білка гарбузової клітковини екстрагували розчинником. Така тенденція підтверджується дослідженнями інших науковців, хоча числові дані різняться (Pham, Tra, Ton, & Le, 2016).

Різниця в хімічному складі пшеничного борошна і гарбузової клітковини повинна вплинути на зміну основних структурних одиниць тіста і хліба з цими компонентами в рецептурі. Для ідентифікації й аналізу цих компонентів доцільно використовувати спектр відбиття в ближній інфрачервоній області.

Аналіз зміни та перерозподілу структурних груп після замішування тіста, через 3,5 год його бродіння та готового хліба було проведено за перерахунком коефіцієнта відбивання на спектральний індекс (рис. 1).

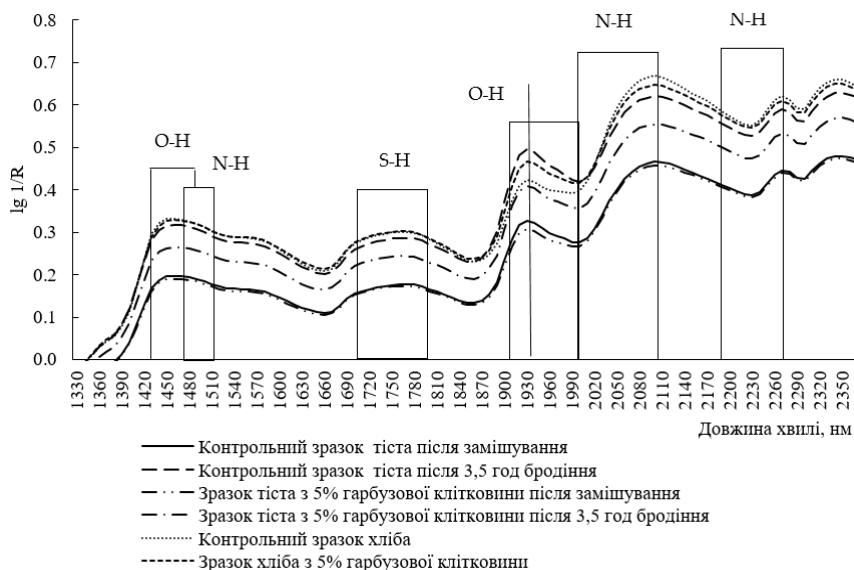


Рис. 1. Зміни і перерозподіл структурних груп у хлібі й тісті з 5% гарбузової клітковини після замішування та через 3,5 год бродіння

Аналіз спектрів тіста після замішування, через 3,5 год та випеченого хліба (як контрольних зразків, так і з заміною 5% пшеничного борошна на гарбузову клітковину) підтвердив значення максимумів, які є однаковими для всіх спектрів: 1460 нм, 1770 нм, 1930 нм, 2100 нм, 2270 нм та 2350 нм. Спектри тіста контрольного зразка після замішування і зразка із заміною 5% пшеничного борошна гарбузовою клітковиною практично збігаються по всій довжині хвиль. Це пояснюється тим, що досліджуваний відсоток заміни є недостатнім для здійснення впливу на зміну функціональних груп, а також про те, що для взаємодії біополімерів сировини пройшло мало часу.

Екстремум на довжині хвилі 1460 нм відповідає першому обертону валентних коливань ОН-групи. На довжині хвилі 1770 нм присутня функціональна група S-H (перший обертон).

У діапазоні довжин хвиль 1700—1790 нм присутні функціональні сульфгідрильні групи S-H (перший обертон) та пологі екстремуми в спектрах усіх зразків, що дають змогу оцінити перебіг процесу протеолізу в тісті. Аналіз рис. 1 показує, що спектри зразків тіста після замішування накладаються в цій області, а спектральні індекси становлять 0,28 на піку. Це пояснюється тим, що на цьому етапі процес протеолізу ще не розпочався. В процесі бродіння спектри в цьому діапазоні значно змістились вгору, особливо спектр контрольного зразка, спектральний індекс якого 0,30, а зразка із заміною — 0,25. Це пояснюється тим, що гарбузова клітковина завдяки вищому вмісту харчових волокон, ніж пшеничне борошно, а також вищій водопоглинальній і вологоутримувальній здатності сприяє меншому розрідженню тіста в процесі бродіння, що забезпечить його кращу формоутримувальну здатність.

На довжині хвилі 1930 нм (другий обертон ОН-деформаційних коливань) можна визначити вміст води (вологість) у зразках. Однак у цьому разі ця довжина хвилі не є інформативною, оскільки свідчить лише про ступінь висушування при підготовці зразків.

Для характеристики білкових структур використовують довжини хвиль 1510 нм (N-H валентні коливання, перший обертон), 2060 нм (N-H деформаційні коливання, другий обертон або N-H деформаційні / N-H валентна комбінація), 2100 нм (другий обертон N-H деформаційних коливань) та 2180 нм (N-H деформаційні коливання, другий обертон). Як свідчать дані рис. 1 на довжинах хвиль 1510 нм, 2060 нм та 2180 нм відсутні явні піки, тому найбільш виражено стан клейковини можна охарактеризувати за довжиною хвилі 2100 нм. Після замішування спектри зразків тіста контрольного та із заміною накладаються та мають спектральний індекс 0,46, а в процесі бродіння відбуваються конформаційні перетворення в структурі білкової матриці. Так, спектральні індекси в обох зразках (контрольного та з заміною) збільшились, порівняно зі значеннями після замішування, і становлять 0,62 для контрольного зразка і 0,54 для зразка із заміною 5% пшеничного борошна гарбузовою клітковиною. Це пояснюється значним зменшенням кількості клейковини в тісті, що підтверджується експериментальними даними (Drobot, & Shevchenko, 2021), а також впливом на її якість. Має місце затримка розвитку глютенкової мережі через включення частинок гарбузової клітковини в клейковинний каркас тіста. За рахунок властивостей цієї сировини структура тіста стає більш пухкою, однак клейковина ущільнюється.

На довжині хвилі 2270 нм (О-Н валентні коливання/С-О валентна комбінація) можна судити про вміст лігніну. Оскільки у гарбузовій клітковині лігнін відсутній, заміна ним частини пшеничного борошна призведе до зменшення цієї речовини в тісті, про що свідчать отримані спектри. Нижче розташування спектрів зразків із заміною 5% пшеничного борошна гарбузовою клітковиною свідчить про кращу засвоюваність виробів з цією сировиною.

Під час операції випікання хліба застосовуються високі температури, які, як відомо, спричиняють руйнування структур білка (Zhou та ін., 2021), тому, незважаючи на значну різницю в розташуванні спектрів збродженого тіста, спектри зразків хліба як контрольного, так і з заміною, практично накладаються по всьому діапазону довжин хвиль.

На рис. 2 представлено зміни та перерозподіл структурних груп у хлібі й тісті із заміною пшеничного борошна на 15% гарбузової клітковини.

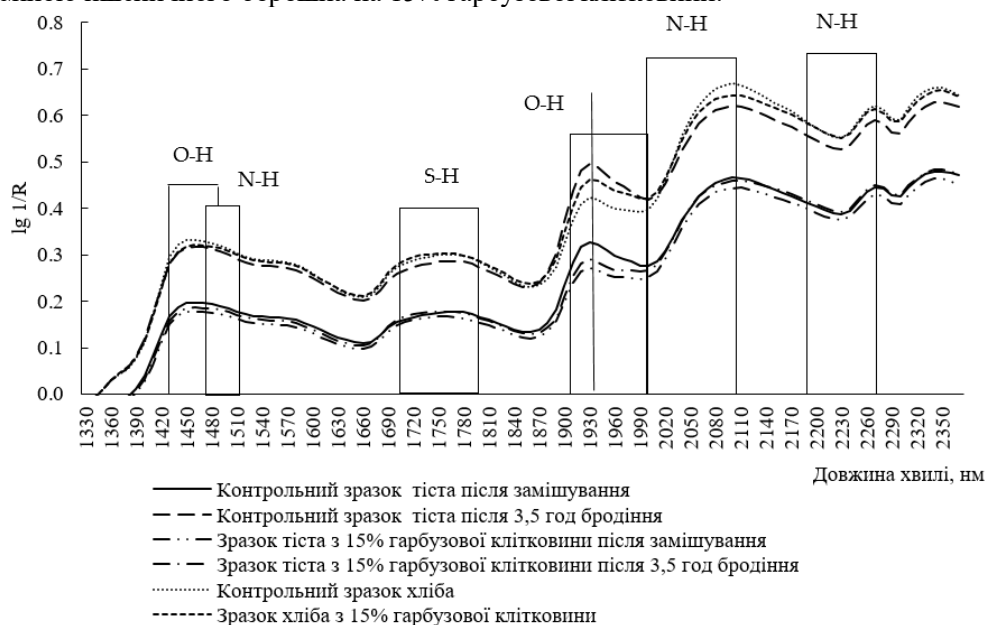


Рис. 2. Зміни і перерозподіл структурних груп у хлібі й тісті з 15% гарбузової клітковини після замішування та через 3,5 год бродіння

Загалом спектри зразків із заміною 15% пшеничного борошна гарбузовою клітковиною мають схожий характер зі спектрами зразків із заміною 5%. Однак числові значення мають відмінності.

Спектр зразка із заміною 15% після замішування знаходиться дещо нижче від спектра контрольного зразка порівняно зі спектром із заміною 5%. Це пояснюється тим, що при збільшенні відсотка заміни деякі зміни в структурі тіста можна спостерігати вже одразу після замішування.

У процесі бродіння збільшення відсотка заміни активніше впливає на перерозподіл структурних груп і конформації в структурі тістової системи. Так, спектральний індекс зразка із 15% заміною пшеничного борошна гарбузовою клітковиною на довжині хвилі 2100 нм становить 0,46 і повністю накладається на

спектр контрольного зразка на цій довжині. Це пояснюється впливом клітковини на розвиток глютенної мережі, зокрема на його затримку. Тобто така кількість внесення гарбузової клітковини з технологічної точки зору є недоцільною, адже клейковинний каркас не може розвиватись через велику кількість включень цієї сировини.

Отже, часткова заміна пшеничного борошна гарбузовою клітковиною в рецептурі пшеничного хліба призводить до зміни структурних елементів тіста і структурно-механічних властивостей тістової системи та хліба.

Високий вміст білка та харчових волокон у гарбузовій клітковині робить цю сировину цінною з точки зору підвищення харчової цінності хліба, а також відповідає векторам світової стратегії сталого розвитку. Однак великий відсоток заміни спричиняє затримку розвитку клейковинного каркасу, що призведе до зниження показників якості хліба.

Висновки

Вміст основних нутрієнтів у гарбузовій клітковині набагато вищий, ніж у борошні пшеничного вищого сорту: білка — у 3,7 раза (42% та 11,3% відповідно), харчових волокон — у 9,1 раза (32% та 3,5% відповідно).

Основною білковою фракцією гарбузової клітковини є глобулін, дещо менший вміст глютеліну та альбуміну, а вміст проламінової фракції найменший. Близько 87,4% від загальної кількості білка гарбузової клітковини екстрагували розчинником.

Інфрачервоні спектри тіста контрольного зразка після замішування і зразка із заміною 5% пшеничного борошна гарбузовою клітковиною практично збігаються по всій довжині хвиль. У діапазоні довжин хвиль 1700—1790 нм у процесі бродіння спектри значно змістились вгору, порівняно зі спектрами зразків після замішування, оскільки гарбузова клітковина завдяки вищому вмісту харчових волокон, ніж пшеничне борошно, а також вищий водопоглинальний і вологоутримувальний здатності сприяє меншому розрідженню тіста в процесі бродіння.

На довжині хвилі 2100 нм після замішування спектри зразків тіста контрольного та із заміною накладаються та мають спектральний індекс 0,46, а в процесі бродіння відбуваються конформаційні перетворення в структурі білкової матриці. Має місце затримка розвитку глютенної мережі через включення частинок гарбузової клітковини в клейковинний каркас тіста.

Загалом спектри зразків із заміною 15% пшеничного борошна гарбузовою клітковиною мають схожий характер зі спектрами зразків із заміною 5%. Однак числові значення мають відмінності. Отже, часткова заміна пшеничного борошна гарбузовою клітковиною в рецептурі пшеничного хліба призводить до зміни структурних елементів тіста і структурно-механічних властивостей тістової системи та хліба.

Література

Drobot, V., Shevchenko, A. (2021). Influence of pumpkin processing products on structural and mechanical properties of dough and bread quality. *Науко ві праці НУХТ*, 27(3), 172—180. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2021-27-3-20>.

- Horax, H., Hettiarachchy, N., Over, K., Chen, P., Gbur, E. (2010). Extraction, fractionation and characterization of bitter melon seed proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 1892—1897. <https://doi.org/10.1021/jf902903s>.
- Litvynchuk, S., Galenko, O., Cavicchi, A., Ceccanti, C., Mignani, C., Guidi, L., Shevchenko, A. (2022). Conformational Changes in the Structure of Dough and Bread Enriched with Pumpkin Seed Flour. *Plants*, 11, 2762. <https://doi.org/10.3390/plants11202762>.
- Mc Cleary, B. V., De Vries, J. W., Rader, J. I., Cohen, G., Prosky, L., Mugford, D. C., Champ, M., Okuma, K. (2010). Determination of Total Dietary Fiber (CODEX Definition) by Enzymatic-Gravimetric Method and Liquid Chromatography: Collaborative Study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 93(1), 221—233. <https://doi.org/10.1093/jaoac/93.1.221>.
- Niewietzki, O., Tillmann, P., Becker, H. C., Möllers, C. (2010). A new near-infrared reflectance spectroscopy method for high-throughput analysis of oleic acid and linolenic acid content of single seeds in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 94—100. <https://doi.org/10.1021/jf9028199>.
- Pham, T. T., Tran, T. T. T., Ton, N. M. N., Le, V. V. M. (2016). Effects of pH and Salt Concentration on Functional Properties of Pumpkin Seed Protein Fractions. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13073>.
- Rakcejeva, T., Galoburda, R., Cude, L., Strautniece, E. (2011). Use of dried pumpkins in wheat bread production. *Procedia Food Science*, 1, 441—447. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.068>.
- Rezig, L., Chibani, F., Chouaibi, M., Dalgalarondo, M., Hessini, K., Guéguen, J., Hamdi, S. (2013). Pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed proteins: Sequential Extraction Processing and Fraction Characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 7715—7721. <https://doi.org/10.1021/jf402323u>.
- Rezig, L., Riaubanc, A., Chouaibi, M., Guéguen, J., Hamdi, S. (2015). Functional properties of protein fractions obtained from pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed. *International Journal of Food Properties*, 150414051930004. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1020433>.
- Różyło, R., Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., Jakubczyk, A., Karaś, M., Różyło, K. (2014). Wheat Bread with Pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) Pulp as a Functional Food Product. *Food technology and biotechnology*, 52(4), 430—438. <https://doi.org/10.17113/ftb.52.04.14.3587>.
- See, E. F., Wan Nadiyah, W. A., Noor Aziah, A. A. (2007). Physico-Chemical and Sensory Evaluation of Bread Supplemented with Pumpkin Flour. *ASEAN Food Journal*, 14(2), 123—130.
- Shevchenko, A., Drobot, V., Galenko, O. (2022). Use of pumpkin seed flour in preparation of bakery products. *Ukrainian Food Journal*, 11(1), 90—101. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2022-11-1-10>.
- Shevchenko, A., Litvynchuk, S. (2022). Influence of rice flour on conformational changes in the dough during production of wheat bread. *Ukrainian Journal of Food Science*, 10(1), 5—15. <https://doi.org/10.24263/2310-1008-2022-10-1-3>.
- Wahyono, A., Tifania, A. Z., Kurniawati, E., Kasutjaniangati, K., Kang, W. W., Chung, S. K. (2018). Physical properties and cellular structure of bread enriched with pumpkin flour. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 207, 012054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/207/1/012054>.
- Yip, W. L., Gausemel, I., Sande, S. A., Dyrstad, K. (2012). Strategies for multivariate modeling of moisture content in freeze-dried mannitol-containing products by near-infrared spectroscopy. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 70, 202—211. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2012.06.043>.
- Yoo, J. S., Seog, E. J., Lee, J. H. (2006). Quality Bread as Influenced by Sweet Pumpkin Powder. *Journal of Food Science and Nutrition*, 11, 339—343.
- Zhou, Y., Dhital, S., Zhao, C., Ye, F., Chen, J., Zhao, G. (2021). Dietary fiber-gluten protein interaction in wheat flour dough: Analysis, consequences and proposed mechanisms. *Food Hydrocolloids*, 111, 106203. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106203>.

RESEARCH OF BIOLOGICAL VALUE AND NUTRIENT COMPOSITION OF HONEY DESSERT

O. Dikhtiar

Polissia National University

L. Adamchuk

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
National Science Center «P. I. Prokopovich Institute of Beekeeping»*

A. Antoniv

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Key words:

*Honey
Vitamin
Organic acid
Flavonoid
Squalene
Macroelement
Microelement
amaranth*

Article history:

Received 06.03.2023
Received in revised form
20.03.2023
Accepted 05.04.2023

Corresponding author:

L. Adamchuk

E-mail:

leonora.adamchuk@gmail.com

ABSTRACT

The article defines the biological value of honey dessert and its nutritional composition (content of vitamins, macro- and microelements, flavonoids, etc.). Honey dessert, which consisted of 65% sunflower honey, 30% bee pollen and 5% amaranth seeds, which were added in the form of flour, was used for research. Generally accepted research methods were used in accordance with national and international standards. The type of honey was confirmed by the method of pollen analysis, experimental studies were carried out on the basis of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine and the NSC "Institute of Beekeeping named after P. I. Prokopovych".

The biological value and nutrient composition of honey desserts with bee honey and amaranth seeds provided by the producers of the NGO "Beekeepers' Women's Foundation" were investigated. The content of vitamins, organic acids, squalene, flavonoids, macro- and micronutrients was determined. The predominant amount of citric (323.2 mg/kg) and oxalic (286.0 mg/kg) organic acids was noted. Potassium and magnesium accounted for 79.0% of the mineral composition of the honey dessert. The obtained indicators indicated the high quality of the honey dessert, as well as the expediency of its use in health and functional human nutrition. According to the determined indicators, the honey dessert contains 25 to 50 percent of the daily norm of necessary nutrients for human consumption. The practical value of the performed work is the use of research results for the development of human diets, production of new food products, and for the in-depth study of the impact of honey desserts on the human body.

ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ ТА НУТРІЄНТНОГО СКЛАДУ МЕДОВОГО ДЕСЕРТУ

О. О. Діхтяр

Поліський національний університет

Л. О. Адамчук

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Національний науковий центр «Інститут бджільництва ім. П. І. Прокоповича»*

А. Д. Антонів

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

Виробництво медових продуктів через додавання до бджолиного меду натуральних функціональних добавок — це ефективний підхід до покращення поживної й енергетичної цінності меду, розширення його смакових якостей та отримання продуктів з бажаним вмістом біологічно активних компонентів. У статті визначено біологічну цінність медового десерту та нутрієнтний склад (вітаміни, макро- та мікроелементи, флавоноїди тощо). Визначення показників проводили в медовому десерті, який складався з 65% соняшникового меду, 30% бджолиного обніжжя та 5% насіння амаранту, яке додавали у вигляді борошна, за допомогою загальноприйнятих методів дослідження згідно з національними та міжнародними стандартами. Сорт меду підтверджували за методикою титлового аналізу, експериментальні дослідження проводили на базі Національного університету біоресурсів і природокористування України та ННЦ «Інститут бджільництва імені П. І. Прокоповича».

Досліджено біологічну цінність і нутрієнтний склад медових десертів з бджолиним обніжжям і насінням амаранту, наданих виробниками ГО «Фундація жінок пасічниць». Визначено вміст вітамінів, органічних кислот, сквалену, флавоноїдів, макро- та мікронутрієнтів. Відзначено у переважній кількості лимонну (323,2 мг/кг) та оксалатну (286,0 мг/кг) органічні кислоти. Калій і магній склали 79,0% мінерального складу медового десерту. Отримані показники свідчили про високий рівень якості медового десерту, а також про доцільність його використання в оздоровчому та функціональному харчуванні людини. За визначеними показниками десерт медовий містить від 25 до 50% денної норми необхідних нутрієнтів для споживання людиною. Практична цінність виконаної роботи полягає у використанні результатів дослідження для розроблення раціонів людини, застосування виробниками нових харчових продуктів і для поглибленого вивчення впливу медових десертів на організм людини.

Ключові слова: мед, вітамін, органічна кислота, флавоноїд, сквален, макроелемент, мікроелемент, амарант.

Постановка проблеми. Нова харчова категорія функціональних продуктів на сьогодні не має спеціальної нормативної бази та законодавчо закріпленого і вичерпного визначення в Європі. Ринок функціональних харчових продуктів є одним з найбільш швидкозростаючих секторів у Європі. У західних країнах ЄС майже половина харчових продуктів купується з міркувань здоров'я (Alongi, & Anese, 2021). Надання споживачами інформації про біологічну цінність, нутрієнтний

склад медових десертів і їхню користь для здоров'я сприятиме кращому проникненню функціональних харчових продуктів на ринок, що стимулює ініціативи щодо створення нових продуктів у тому ж циклі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З давніх часів бджолиний мед використовується людством не лише як поживний продукт, але і як лікувальний засіб, описаний у традиційній медицині, а також як альтернативне лікування клінічних станів різних захворювань. Компоненти меду мають антиоксидантну, антимікробну, протизапальну, антипроліферативну, протиракову та антиметастатичну дію. Це зумовлює харчову, косметичну, терапевтичну та промислову цінність меду (Hasam, Qarizada, & Azizi, 2020).

Натуральний мед містить макро- та мікроелементи, кількість яких залежить від породи бджіл, квіткового джерела, чинників навколишнього середовища тощо. Загальний склад меду налічує приблизно 200 сполук, таких як цукор, білок, ферменти, мінерали, вітаміни, амінокислоти та широкий спектр поліфенолів. Зі свого боку співвідношення цих сполук обумовлює різний колір, смак, в'язкість і терапевтичну активність продукту (Ciucure, & Geană, 2019; Souza, Menezes, & Flach, 2021).

Макроелементний склад меду містить від 60 до 95% вуглеводів. У результаті дослідження зразків меду з різних частин світу було ідентифіковано понад 20 типів вуглеводів. Основну частку поміж них складає фруктоза (28—40%) та глюкоза (20—35%), тоді як концентрація дисахаридів і трисахаридів становить орієнтовно 5 і 1% відповідно. Найбільш ідентифікованими дисахаридами є мальтоза, мальтулоза, тураноза, сахароза, нігероза, тоді як деякі трисахариди, такі як ерлоза, центоза, ізомальтотріоза, паноза, псопаноза і кетоза, зустрічаються в невеликій кількості (Ranneh et al., 2021).

Поміж кислот у меду переважає глюконова, у меншій кількості оцтова, лимонна, мурашина, молочна, малеїнова, яблучна, щавлева, піроглутамінова та бурштинова кислоти, які впливають на pH меду. Серед основних мінералів, що містяться в меду, варто зазначити калій, який становить приблизно 33% всіх елементів, що присутні в меду (Puścion-Jakubik et al., 2020).

Мед містить такі ферменти, як амілаза (діастаза), інвертаза, каталаза та глюкозооксидаза. Вміст ферментів свідчить про свіжість і натуральність меду, дотримання умови зберігання (Ranneh et al., 2021).

Науковці неодноразово експериментально підтверджували взаємозв'язок між харчуванням і станом здоров'я людини. На сьогодні розвинені суспільства потребують продуктів з додатковою цінністю. Функціональні харчові продукти, харчові добавки та нутрицевтики перебувають на стику між дієтологією та фармацевтикою, і стимулюють пошук нових терапевтичних альтернатив для профілактики захворювань (Domínguez Díaz, Fernández-Ruiz, & Cámara, 2020).

Досить широкого визнання набуває твердження про те, що харчові продукти впливають на здоров'я не лише через свою поживну цінність. Специфічний вплив профілактики захворювань через харчування зумовлює відкриття нових функціональних продуктів (Butnariu, & Sarac, 2019).

Щораз більший інтерес споживачів до натуральних продуктів сприяє пошуку нових інгредієнтів, комбінування різних видів сировини для виробництва нових

функціональних харчових продуктів, які характеризуються різноманітними перевагами для здоров'я. Цей спосіб дає змогу збагатити отримані продукти корисними речовинами, регулювати склад і підвищити харчову цінність з урахуванням основних положень теорії збалансованого харчування (Conte et al., 2020). Для створення функціональних продуктів використовують різноманітну сировину рослинного та тваринного походження, яка має хороші технологічні властивості, містить вітаміни, баластні вуглеводи та мінеральні елементи (Alexa et al., 2021; Aylanc et al., 2021).

Мед є складним харчовим продуктом, який сам по собі вважається функціональним, проте виробники розширюють його біологічну цінність, поєднуючи з різноманітними натуральними добавками (Sarkar, & Chandra, 2019).

Поміж широкого асортименту медових десертів з наповнювачами (продуктами бджільництва, насінням, горіхами, фруктами та ін.), виробники ГО «Фундація жінок пасічниць» пропонують споживачам медовий продукт з бджолиним обніжжям і насінням амаранту.

Бджолине обніжжя — це натуральний рослинно-бджолиний продукт з унікальними споживчими та лікувальними властивостями. Воно містить білки, вітаміни, макро- (фосфор, натрій, кальцій, магній, калій) та мікроелементи (мідь, марганець, залізо, цинк, селен), а також має нутрицевтичний потенціал для організму людини. Проте фізико-хімічні та поживні властивості бджолиного пилку неоднозначні та сильно варіюються через різницю ботанічного та географічного походження (Al-Kahtani et al., 2020; Thakur, & Nanda, 2020; Khalifa et al., 2021).

Мета статті: визначити вміст вітамінів, органічних кислот, флавоноїдів, сквалену, макро- та мікроелементів у медовому десерті.

Матеріали і методи. Зразки медових десертів було отримано від виробника ГО «Фундація жінок пасічниць». Рецепт медового десерту включав: 65% соняшникового меду, 30% бджолиного обніжжя та 5% насіння амаранту, яке додавали у вигляді борошна. Визначення лабораторних показників поживності продуктів проводили, використовуючи матеріальне забезпечення лабораторії факультету харчових технологій та управління якістю продукції АПК Національного університету біоресурсів і природокористування України та лабораторії методів якості та безпечності продукції бджільництва ННЦ «Інститут бджільництва імені П. І. Прокоповича».

Під час досліджень користувалися стандартизованими методами. Зокрема, для визначення вітамінів (ДСТУ EN 12823-2:2006 Продукти харчові. Визначення вмісту вітаміну А методом рідинної хроматографії високороздільної здатності. Частина 2. Визначення вмісту b-каротину (EN 12823-2:2000, IDT). З поправкою (ІПС 11-2011); ДСТУ 7803:2015 Продукти перероблення фруктів та овочів. Методи визначання вітаміну С; BS EN 14122:2014 Foodstuffs. Determination of vitamin B₁ by high performance liquid chromatography; ДСТУ EN 14152:2014 Продукти харчові. Визначення вітаміну B₂ методом вискоефективної рідинної хроматографії (EN 14152:2003, IDT); BS EN 14663:2005 Foodstuffs. Determination of vitamin B₆ (including its glycosylated forms) by HPLC; BS ISO 20634:2015 Infant formula and adult nutritionals. Determination of vitamin B₁₂ by reversed phase high performance liquid chromatography (RP-HPLC); ДСТУ EN 12822:2005 Продукти харчові.

Визначення вмісту вітаміну Е методом рідинної хроматографії високороздільної здатності. Вимірювання а-, b-, у-, d-токоферолів (EN 12822:2000, IDT). З поправкою; ДСТУ EN 12821:2005 Продукти харчові. Визначення вмісту вітаміну Д методом хроматографії високороздільної здатності. Вимірювання холекальциферолу (Д₃) ієргокальциферолу (Д₂) (EN 12821:2000, IDT). Зі зміною), органічних кислот (ГОСТ 32712-2014 Продукция соковая. Определение фумаровой кислоты методом высокоэффективной жидкостной хроматографии), сквалену, флавоноїдів (методом абсорбційної спектрофотометрії, вимірюючи абсорбцію комплексу флавоноїдів з алюміній хлоридом), макро- та мікроелементів (ДСТУ ISO 6491:2004 Корми для тварин. Визначення вмісту фосфору. Спектрометричний метод; ДСТУ ISO 8215:2006 Поверхневоактивні речовини. Порошки мийні. Гравіметричний метод визначення масової частки діоксиду кремнію; ГОСТ 30178-96 Сировина і продукти харчові. Атомно-абсорбційний метод визначення токсичних елементів).

Попередньо сорт меду підтверджували згідно з методикою пилкового аналізу (Адамчук, Сухенко, & Скорик, 2020) та відповідність чинним вимогам згідно з ДСТУ 4497:2005 «Мед натуральний. Технічні умови». Отримані результати опрацьовували статистично.

Викладення основних результатів дослідження. Бета-каротин — важливий природний пігмент з низькою розчинністю у воді, високою температурою плавлення та низькою біодоступністю під час перорального застосування. Він є надзвичайно цікавою біологічно активною сполукою в харчовій промисловості завдяки своїй антиоксидантній здатності та активності провітаміну А. Крім цього, β-каротин, вітамін Е та вітамін С відомі своєю імуномодулюючою дією. Експериментально доведено, що приймання каротиноїдів від 24 до 25 мг на день впродовж 12 тижнів здоровими чоловіками та жінками у віці від 20 до 57 років значно зменшував еритему (аномальне почервоніння шкіри), спричинену УФ-випромінюванням (Fam et al., 2021).

Встановлено, що медовий десерт з бджолиним обніжжям і насінням амаранту містить β-каротину — 2,2 мг/100 г (табл. 1), що в 440 разів вище, ніж міститься у ванільному морозиві (Duan et al., 2019).

Таблиця 1. Вміст вітамінів, мг/100 г медового десерту, (n=3)

Назва показника	Результати випробувань, $X \pm \Delta$
β-каротин	$2,2 \pm 0,05^{**}$
Аскорбінова кислота (вітамін С)	$2,2 \pm 0,2^{**}$
Вітамін В1 (тіамін)	$0,01 \pm 0,002^{**}$
Вітамін В2 (рибофлавін)	$0,03 \pm 0,003^{**}$
Вітамін В6 (піридоксин)	$0,04 \pm 0,008^{**}$
Вітамін В12 (ціанокобаламін)	$0,10 \pm 0,006^{**}$
Вітамін Е	$0,21 \pm 0,02^{**}$
Вітамін D3, МО/100 г	<10* н.в.
Вітаміну А (ретинолацетату), МО/100 г	$122,0 \pm 0,05^{**}$
Вітаміну РР (нікотинової кислоти)	$0,10 \pm 0,02^{**}$
Вітамін В9 (фолієва кислота)	<25* н.в.

Примітка: * — нижня межа визначення методу; ** — невизначеність розрахована згідно з ПСУ 7.6-01 (порядок системи управління); X — середнє значення; Δ — похибка вимірювання.

Середньодобова норма споживання дорослою людиною бета-каротину складає 5 мг, вітаміну С — 70...80 мг, В₁ — 1,3...1,6 мг, В₂ — 1,6...2,0 мг, В₆ — 1,8...2,0 мг, В₁₂ — 3 мкг, Е — 15 мг, D₃ — 5 мкг, А — 1 мг, РР — 16...22мг, В₉ — 300 мкг (Наказ від 03.09.2017 № 1073).

Як бачимо з табл. 1, вітамінний склад медового десерту частково може забезпечити добову потребу людини у вітамінах. Також, зважаючи на отримані дані, можна компонувати десерт медовий з іншими харчовими продуктами задля повноцінного засвоєння окремих вітамінів організмом людини; регулюючи співвідношення компонентів десерту медового можна контролювати вміст вітамінів у продукті для отримання найвищих показників.

Органічні кислоти є важливими хімічними компонентами меду через їхню роль у стабільності та збереженні фізико-хімічних, сенсорних властивостей продукту. Переважною органічною кислотою у медовому десерті визначено лимонну (323,2 мг/кг) та оксалатну (286,0 мг/кг) кислоти (табл. 2).

Таблиця 2. Вміст органічних кислот, сквалену та флавоноїдів, (n=3), мг/кг

Назва показника	Результати випробувань, $X \pm \Delta$
Фракція органічних кислот:	
молочна $C_3H_6O_3$	$55,0 \pm 0,001$
лимона $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$	$323,2 \pm 0,001$
оксалатна $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$	$286,0 \pm 0,001$
бурштинова $HOOC-CH_2-CH_2-COOH$	$32,0 \pm 0,001$
фумарова $HOOC-CH=CH-COOH$	$3,6 \pm 0,001$
Сквален, мг/кг $C_{30}H_{50}$	$326,9 \pm 5,5^{**}$
Флаваноїди (по рутину) $C_{27}H_{30}O_{16}$	$< 10^* \text{ н. в.}$

Примітка: * — нижня межа визначення методу; ** — невизначеність розрахована згідно з ПСУ 7.6-01 (порядок системи управління); X — середнє значення; Δ — похибка вимірювання.

Під час дослідження вмісту органічних кислот у складі медових десертів, окрім лимонної та оксалатної кислот, було також виявлено молочну, бурштинову та фумарову кислоти, проте їхня кількість була в межах 3,6...55,0 мг/кг. Зазначений вміст органічних кислот зумовлює активну кислотність продукту. Користуючись отриманими даними цього дослідження, можна корегувати умови та терміни зберігання продукту, а також пропонувати більш оптимальні й ефективніші умови використання десерту медового споживачами.

Численні властивості продуктів бджільництва, що сприяють зміцненню здоров'я, пов'язані з присутніми в них фотохімічних речовин, включно з фенольними кислотами, флавоноїдами та алкалоїдами. Флавоноїди меду можуть походити з пилку, нектару або прополісу. Вони мають низьку молекулярну масу і є важливими компонентами меду та його антиоксидантних властивостей.

Згідно з «Нормами фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах і енергії», які затверджені Наказом № 1073 Міністерства охорони здоров'я України від 03 вересня 2017 року, рекомендована норма споживання біологічно активних речовин, зокрема флавоноїдів, для дорослого населення складає 250 мг/добу (Наказ від 03.09.2017 № 1073).

За даними Paulius et al. (2020) загальний вміст флавоноїдів у соняшниковому меді складає 11,53...15,33 мг QE-100 г-1. Експериментально встановлено факт підвищення вмісту фенольних і флавоноїдних сполук після додавання до меду перги або бджолиного обніжжя (Sawicki et al., 2020). Цей експеримент продемонстрував цікавий підхід до покращення поживної цінності світлих медів, які, зазвичай, характеризуються нижчим вмістом біологічно активних сполук, якщо порівняти з темними медами.

У сучасних екологічних умовах важливе значення для людського організму відіграють мінеральні речовини, адже запобігають поглинанню радіоактивних елементів. Добова норма дорослого населення у мінеральних речовинах: Ca — 1100...1200 мг; P — 1200; Mg — 400...500; Fe — 15...17; Zn — 12...15; I — 150 мкг; Cu — 1 мг; Cr — 50...70 мкг; Mo — 70 мкг; Se — 70 мкг; Mn — 2 мг (Наказ від 03.09.2017 № 1073).

Під час дослідження мінерального складу медового десерту в більшій кількості виявлено калій (1014,0 мг/г) та магній (203,0 мг/г) (табл. 3), що в 5 і 8 разів відповідно більше, ніж міститься в десерті — шербет буряковий, та в 10 і 20 разів вище, коли порівняти із сорбетом чорничним (Антонюк, Медведєва, & Бондаренко, 2019).

Таблиця 3. Вміст макро- та мікроелементів у медовому десерті, (n=3)

Назва показника	Результати випробувань, $X \pm \Delta$
<i>Неметали, на мг/100 г</i>	
Сірка (сульфати)	$4,6 \pm 0,2^{**}$
Хлориди	$26,8 \pm 0,1^{**}$
Броміди	$< 0,5^* \text{ н. в.}$
Йодиди	$5,1 \pm 0,7^{**}$
Фториди	$< 0,05^* \text{ н. в.}$
Фосфор	$168,6 \pm 1,3^{**}$
Кремнію	$< 0,1^* \text{ н. в.}$
<i>Метали, мг/кг</i>	
Магній	$203,0 \pm 3,3^{**}$
Калій	$1014,0 \pm 3,2^{**}$
Кальцій	$52,6 \pm 0,48^{**}$
Натрій	$23,6 \pm 0,08^{**}$
Селен	$< 0,01^* \text{ н. в.}$
Мідь	$1,2 \pm 0,04^{**}$
Хром	$< 0,001^* \text{ н. в.}$
Цинк	$20,4 \pm 0,11^{**}$
Залізо	$14,4 \pm 0,12^{**}$
Марганець	$5,2 \pm 0,08^{**}$
Нікель	$< 0,002^* \text{ н. в.}$
Молибден	$< 0,001^* \text{ н. в.}$

Примітка: * — нижня межа визначення методу; ** — невизначеність розрахована згідно з ПСУ 7.6-01 (порядок системи управління); X — середнє значення; Δ — похибка вимірювання.

Досліджений медовий продукт в 10 разів переважає кисломолочний десерт з рослинними наповнювачами за кількістю калію та у 2 рази — за вмістом фосфору, однак вдвічі менше містить кальцію та натрію (Polishchuk et al., 2021). Якщо

порівняти з яблучним пюре, мінеральний склад медового десерту з бджолиним обніжжям і насінням амаранту переважає майже втричі за вмістом заліза, у 203 рази — калію, у 44 рази — кальцію, у 113 разів — магнію та у 236 разів — натрію (Lobosova et al., 2021). Важливим є постійне поповнення організму людини неметалами та металами, зокрема такими, які не мають здатності синтезуватися самостійно або які не засвоюються чи швидко вимиваються з організму. За допомогою десерту медового у невеликих дозах споживання можна забезпечити людину необхідними макро- та мікроелементами.

Висновки

Враховуючи дані проведених досліджень щодо вмісту вітамінів, органічних кислот, сквалену, флавоноїдів, макро- та мікроелементів у медовому десерті отримали дані, які підтверджують ефективність виробництва таких продуктів та задовольняють потреби організму людини у відновленні та поповненні необхідними компонентами для повноцінної життєдіяльності.

Поміж визначених вітамінів у складі десерту медового найбільше було β -каротину — 2,2 мг/100 г, аскорбінової кислоти — 2,2 мг/100 г, вітаміну Е — 0,22 мг/100 г та вітаміну А (ретинолацетату) МО/100 г — 122. Органічними кислотами, які переважали в десерті, були лимонна (323,2 мг/кг) та оксалатна (286,0 мг/кг). У процесі визначення мінерального складу в більшій кількості виявлено калію (1014,0 мг/г) та магнію (203,0 мг/г), а також в значних дозах — фосфору, кальцію, цинку, заліза та натрію.

Медовий десерт на основі соняшникового меду з додаванням бджолиного обніжжя та насіння амаранту може бути функціональним продуктом для поновлення органічних кислот, вітамінів, макро- та мікроелементів; застосовуватися в оздоровчому та профілактичному харчуванні людини.

Перспективними дослідженнями щодо десертів медових можуть бути компонування та розроблення рецептур десертів з різними добавками задля отримання найвищих показників щодо корисних елементів та засвоєнні організмом людини окремих нутрієнтів. Також підтверджено функціонально спрямовані властивості десертів медових у раціоні людини.

Література

Адамчук, Л., Сухенко, В., Скорик, М. (2020). Адаптація методів електронної скануючої мікроскопії для дослідження пилоквих зерен. *Продовольчі ресурси*, 8(14), 20—28.

Антонюк, І. Ю., Медведєва, А. О., Бондаренко, К. В. (2019). Заморожені десерти підвищеної біологічної цінності. *ВВК*, 79, 380.

Al-Kahtani, S. N., Taha, E. K., Khan, K. A., Ansari, M. J., Farag, S. A., Shawer, D. M., Elnabawy, E. S. M. (2020). Effect of harvest season on the nutritional value of bee pollen protein. *PloS one*, 15(12), e0241393. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241393>.

Alexa, I. C., Suceveanu, E. M., Grosu, L., Patriciu, O. I., Ifrim, I. L., & Fînaru, A. L. (2021). Approches for honey-based functional foods obtention. Взято з: <http://repository.utm.md/handle/5014/17724>.

Alongi, M., Anese, M. (2021). Re-thinking functional food development through a holistic approach. *Journal of Functional Foods*, 81, 104466. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104466>.

Aylanc, V., Falcão, S. I., Ertosun, S., Vilas-Boas, M. (2021). From the hive to the table: Nutrition value, digestibility and bioavailability of the dietary phytochemicals present in the bee pollen and bee

bread. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 464—481. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.042>.

Butnariu, M., Sarac, I. (2019). Functional food. *Int. J. Nutr*, 3(3), 7—16. <https://doi.org/10.14302/issn.2379-7835.ijn-19-2615>.

Ciucure, C. T., Geană, E. I. (2019). Phenolic compounds profile and biochemical properties of honeys in relationship to the honey floral sources. *Phytochemical Analysis*, 30(4), 481—492. <https://doi.org/10.1002/pca.2831>.

Conte, P., Del Caro, A., Urgeghe, P. P., Petretto, G. L., Montanari, L., Piga, A., & Fadda, C. (2020). Nutritional and aroma improvement of gluten-free bread: is bee pollen effective? *LWT*, 118, 108711. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108711>.

Domínguez Díaz, L., Fernández-Ruiz, V., Cámara, M. (2020). The frontier between nutrition and pharma: The international regulatory framework of functional foods, food supplements and nutraceuticals. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(10), 1738—1746. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1592107>.

Duan, B. B., Shin, J. A., Lee, K. T. (2019). The contents of β -carotene and cholesterol in selected types of agricultural and processed foods in Korea. *Korean Journal of Agricultural Science*, 46(2), 315—322. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20190017>.

Fam, V. W., Charoenwoodhipong, P., Sivamani, R. K., Holt, R. R., Keen, C. L., Hackman, R. M. (2021). Plant-based foods for skin health: A narrative review. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2021.10.024>.

Hasam, S., Qarizada, D., & Azizi, M. (2020). A review: honey and its nutritional composition. *Asian Journal of Research in Biochemistry*, 7(3), 34—43. <https://doi.org/10.9734/ajrb/2020/v7i330142>.

Khalifa, S. A., Elashal, M. H., Yosri, N., Du, M., Musharraf, S. G., Nahar, L., El-Seedi, H. R. (2021). Bee pollen: Current status and therapeutic potential. *Nutrients*, 13(6), 1876. <https://doi.org/10.3390/nu13061876>.

Lobosova, L. A., Maliutina, T. N., Derkanosova, A. A., Frolova, L. N., Vasilenko, V. N., Nesterova, I. Y. (2021, February). The cupcakes with new functional ingredients for personalised school feeding. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 640, No. 2, p. 022012). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022012>.

Pauliuc, D., Dranca, F., Oroian, M. (2020). Antioxidant activity, total phenolic content, individual phenolics and physicochemical parameters suitability for Romanian honey authentication. *Foods*, 9(3), 306. <https://doi.org/10.3390/foods9030306>.

Polishchuk, G., Kuzmyk, U., Osmak, T., Kurmach, M., Bass, O. (2021). Analysis of the nature of the composition substances of sour-milk dessert with plant-based fillers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(11), 114. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246309>.

Puścion-Jakubik, A., Borawska, M. H., Socha, K. (2020). Modern methods for assessing the quality of bee honey and botanical origin identification. *Foods*, 9(8), 1028. <https://doi.org/10.3390/foods9081028>.

Ranneh, Y., Akim, A. M., Hamid, H. A., Khazaai, H., Fadel, A., Zakaria, Z. A., Albujja, M., Bakar, M. F. A. (2021). Honey and its nutritional and anti-inflammatory value. *BMC complementary medicine and therapies*, 21(1), 1—17. <https://doi.org/10.1186/s12906-020-03170-5>.

Sarkar, S., Chandra, S. (2019). Honey as a functional additive in yoghurt—a review. *Nutrition & Food Science*, 50(1), 168—178. <https://doi.org/10.1108/NFS-03-2019-0090>.

Sawicki, T., Baczek, N., Starowicz, M. (2020). Characterisation of the total phenolic, vitamins C and E content and antioxidant properties of the beebread and honey from the same batch. *Czech Journal of Food Sciences*, 38(3), 158—163. <https://doi.org/10.17221/312/2019-CJFS>.

Souza, E. C. A., Menezes, C., Flach, A. (2021). Stingless bee honey (Hymenoptera, Apidae, Meliponini): A review of quality control, chemical profile, and biological potential. *Apidologie*, 52(1), 113—132. <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00802-0>.

Thakur, M., Nanda, V. (2020). Composition and functionality of bee pollen: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 82—106. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.001>.

PERSPECTIVES OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE ELEMENTS IN BREAD BAKING

V. Makhynko, L. Makhynko

National University of Food Technologies

O. Kozyr

Baking Enzymes, Lallemand

Key words:

Bread

Recipe design

Artificial intelligence

Machine learning

Baking industry

Article history:

Received 02.03.2023

Received in revised form
17.03.2023

Accepted 05.04.2023

Corresponding author:

V. Makhynko

E-mail:

mavam78@gmail.com

ABSTRACT

Enterprises of bread baking sector produce traditional everyday products and, at the same time, this sector remains one of the most conservative ones. There are always new types of raw materials and additives on the market, but new recipes are developed traditionally based on the results of test baking. However, a technologically justified solution is not always optimal regarding nutritional value.

The purpose of this work is consideration of the possibilities and prospects of using elements of artificial intelligence (AI) in bread baking based on examples from other sectors of the food industry and study the AI's ability to analyze and evaluate (categorise) existing recipes of bread products.

The initial stage of AI use is machine learning (ML), but today there are no unified electronic databases that can be used to fulfil the task. We took approved collections of recipes as the basis for filling such databases. In addition, technologically acceptable variations of the main recipe components and their mutual substitution were carried out. The base was analyzed using Microsoft Azure Machine Learning service and Google Cloud Machine Learning Engine.

Normalised database with 5,000 variants of recipes of bakery products that can be manufactured in conditions of both large industrial companies and small bakeries were created. The ML showed that the system effectively determines the main components of recipes and can independently, with high accuracy, classify recipes entered by the user into categories "bread" or "enriched bread".

The work showed the possibility and viability of using AI elements in the baking industry. The database can be used to design new bakery products with specified recipe composition and (after improvement) to model applications with specified chemical composition or biological value.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ХЛІБОПЕЧЕННІ

В. М. Махинько, Л. В. Махинько

Національний університет харчових технологій

О. М. Козир

Baking Enzymes, Lallemand

Хлібопекарська галузь, випускаючи продукти традиційного повсякденного вживання, водночас є однією з найбільш консервативних. На ринку постійно з'являються нові види сировини та добавок, але розроблення нових рецептур відбувається традиційним способом за результатами пробних випікань. При цьому технологічно виправдане рішення не завжди є оптимальним з позиції харчової цінності (і навпаки).

У статті розглянуто можливості та перспективи використання елементів штучного інтелекту (ШІ) в хлібопеченні на прикладі інших галузей харчової промисловості, вивчено спроможності ШІ до аналізу та оцінювання (категоризації) вже існуючих рецептур хлібних виробів.

Початковим етапом використання ШІ є проведення машинного навчання (МН), але на сьогодні відсутні уніфіковані електронні бази даних, що можуть бути використані для вирішення поставленого завдання. За основу для їх наповнення було взято затверджені збірники рецептур. Додатково провели технологічно допустиме варіювання основних рецептурних компонентів та їх взаємозаміну. Аналіз створеної бази здійснювали за допомогою Microsoft Azure Machine Learning та Google Cloud Machine Learning Engine.

Створено електронну нормалізовану базу з близько 5 тис. варіантів рецептур хлібобулочних виробів, що можуть виготовлятися в умовах як великих промислових підприємств, так і пекарень. Результати МН показали, що система ефективно визначає основні компоненти рецептури, а також здатна самостійно з високою точністю класифікувати введені користувачем рецептури за категоріями «хліб» чи «здобні вироби».

Показано можливість і перспективність використання елементів ШІ у хлібопекарській галузі. Створена база може бути використана для проєкування нових хлібобулочних виробів із заданим рецептурним складом, а також (після доопрацювання) — для моделювання виробів, що матимуть заданий хімічний склад чи біологічну цінність.

Ключові слова: хліб, проєкування рецептур, штучний інтелект, машинне навчання, хлібопекарська промисловість.

Formulation of the problem. Food crisis is becoming a reality due to global changes in recent years: growth of Earth's population, recurrent epidemics and pandemics, military conflicts, and full-scale wars.

This situation requires new solutions at all stages of the food security — from planning and solving agricultural tasks minimizing the amount of food waste or designing mechanisms for its recycling. Extensive development that envisages only

growth of planted areas and increased capacities of various branches of the food industry is impossible in current conditions and inexpedient considering existing technologies and means of production. So, methods to improve the intensity of food production, particularly by using various computer technologies, are being searched for. One of the most promising solutions in this area is the involvement of artificial intelligence (AI).

Analysis of recent research and publications. The basis of AI is the development of instrumental and software solutions to copy or simulate the behavior of human intellect. Development of this industry began in the middle of the last century. Initially, the goal was only to model the process of human learning and thinking. However, it was later found that AI can be learned in ways other than humans e.g. through classification of well-structured, specific and large datasets of tabular, text or visual information. This finally pushed the development of an essential component of AI — machine learning (ML), which analyzes and generalizes data sets and establishes specific dependencies, with the possibility of future predicting or generation of new elements of this set. The result was an autonomously functioning system that can fulfil tasks in a variety of industries and spheres of modern life (Chidinma-Mary-Agbai, 2020; Kumar, Rawat, Mohd, & Husain, 2021; Matthew, Omobayode, & Sarhan, 2020):

- Natural Language Processing — statistical and semantic analysis of natural languages to gain the ability to recognize language and analyze the received text, with its subsequent translation into other languages or forms of representation;
- Computer Vision — obtaining, recording, and analyzing visual information for its classification or use in automation systems (for example, object recognition and sorting, autonomous navigation, etc.);
- Robotics — the possibility to reproduce human actions with greater speed/accuracy, especially in spheres with a significant number of monotonous, repetitive operations;
- Data Mining — analysis of large data sets (including updatable) for both accumulation of statistical data, and establishment of hidden patterns that can be unnoticeable for human analysis.

Most of these tasks are solved at various stages of the food products creation, so as the availability of AI tools increases, so do the options for its application in agriculture and the food industry (Fisher, 2016; Jermsurawong, & Habash, 2015; Steluti, Junior & Marchioni, 2020). Without dwelling on the first stages, there were noted such compelling examples of AI use as satellite monitoring of planted areas' condition, the presence of the need for irrigation or use of means of plant protection, mapping of yield, and even cow care (Soltani-Fesaghandis, & Pooya, 2018; Kakani, Nguyen, Kumar, Kim, & Pasupuleti, 2020). The next stage where AI can be used is the analysis of harvested crops, with an assessment of the degree of their damage by pests, mechanical damage, the presence of dirt, pollution, or foreign impurities. A combination of Computer Vision and Robotics elements can significantly speed up the product sorting process, reducing the volume of low-skilled manual labor while simultaneously accumulating analytical information for further interaction with suppliers (Fisher, 2016; Jermsak, & Nizar, 2015; Steluti, Junior, & Marchioni, 2020). As for food industry companies, AI systems can be used there to analyze the sanitary condition of equipment (optical and ultrasonic detection of dirt and pollution) and to monitor workers' compliance with personal hygiene requirements at the workplace (Soltani-Fesaghandis, & Pooya, 2018; Vijay, Van Huan, Basivi, Hakil, & Visweswara, 2020).

In conditions of a highly competitive medium, one of the most promising spheres of AI use in the food industry is the study of market consumer preferences. After all, it is known that only 20% of all novelties can gain a foothold on the market for sufficient time to compensate for their development's organizational and technological costs incurred. The 80% losses can be minimized by conducting various online and offline surveys, with subsequent processing of results obtained by AI methods. The outcome will ensure modelling consumer taste preferences and predicting their reaction to a new product (Carlos, 2018; Jabeen, Nargis, & Lehmann, 2019; O'Brien, & Rivas, 2019; Guiné, 2019).

The final link of this technological chain where AI can be used is designing new recipes. The review of scientific sources shows the existence of theoretical justification and practical developments in creating new culinary dishes and even composing a whole menu. At the same time, in the confectionery industry, AI is proposed to be used only to predict and model cookie recipes (Kicherer, Dittrich, Grebe, Scheible, & Klinger, 2018; Müller, & Bergmann, 2017; Ohene, 2017). There was found no information on the design of recipes of bakery products using AI that can be manufactured both in conditions of large industrial companies and small bakeries.

The study of the possibility of creating new bread product recipes using AI elements has scientific and practical value.

There are no such works yet, which has led to the need for the creation of an initial (recipe) database to carry out the ML process. Today, such databases can be created by exporting (parsing) recipes from open sources (in particular, from various culinary or relevant websites) or by manually entering data. The first method has clear advantages and such main disadvantages as the inability of checking the data obtained and the lack of unification in their presentation (for example, various dimensions of recipe components dosage values). So, while being practical for the initial filling of recipe database, such sources require considerable technological analysis and improvement later.

The purpose of the research is to create a database for ML based on officially approved collections of recipes used by large industrial companies, small bakeries, and public catering facilities.

Materials and methods All bakery product recipe groups were divided into two classes (the minimum number to ensure the possibility of classifying systems by ML methods). The first class included bread itself, made of wheat or rye flour or their mixture, as well as rolls and buns. The second class included enriched bread with recipes containing mostly highest- or first-quality wheat flour and a considerable amount of sugar and fat. It was also decided not to include special-purpose products (for patients with diabetes mellitus, coeliac disease, phenylketonuria, renal failure, etc.) and products with non-traditional recipe components. These applications have insignificant share in the total mass of recipes that will not considerably affect the ML process.

Analysis of open sources (collections of recipes issued in different years) showed that they have a maximum of 400 recipe compositions of traditional bakery products, which is not enough to carry out the ML process. At the same time, it was noted that recipes of some products differ only in a slight change in amounts of certain recipe components (for example, yeast or salt), which are within technologically acceptable limits. This way allows the creation of new recipes based on existing ones.

So, it was decided to expand the database for ML based on traditional recipes by variation of the main recipe components (as a percentage of flour mass in basic recipes):

- compressed yeast $\pm 0.5\%$;
- table salt $\pm 0.3\%$;
- the wheat and rye flour ratio for bread-type products based on their mix ranges from 40:60 to 60:40 with a 10% step (for recipes that allow a wider variation — from 20:80 to 80:20).

The possibility of mutual substitution of raw materials was also considered. Recipes containing either native or powdered milk that was allowed by regulatory documentation were created. Additionally, for all recipes containing compressed yeast, new formulations were created in parallel with their replacement by dry (instant) yeast in a ratio of 3:1. For products with rye and rye-wheat flours with the use of sourdough, it was decided to introduce 2...5% of dry sourdough powder (depending on the amount of rye flour in the base recipes), with its variation step of $\pm 0.5\%$, for use in conditions of discrete dough preparation. In addition, traditional recipes' collections do not give the amount of water needed for dough preparation. Therefore, it should be calculated depending on the moisture content in the final product. It was then decided to use this factor to increase the number of recipe options: the calculated moisture content value varied within $\pm 1\%$.

Results and discussion. Abovementioned introduction of the chosen solutions allowed to increase the total number of recipes in the database for ML from 400 to almost 6 thousand (over 4 thousand recipes of bakery products that could be classified as "Bread" and almost 2 thousand recipes of "Enriched bread" type of application). Recipes were normalized before the use: the sum of recipe components was reduced to 1, with a recalculation of their ratio, respectively (fig. 1).

The created recipe database was analyzed on the Microsoft Azure Machine Learning and Google Cloud Machine Learning Engine platforms. For training, the typical settings were used to divide the created data set into three groups: a training set (80% of the total data), a validation set (10%) and a testing set (10%). All the data array was pre-randomized using a random number generator.

Both ML instruments showed approximately the same efficiency in terms of determining the feature importance of the recipe's components (fig. 2), and in terms of the ability to classify new recipes (referring them to the categories of "bread" or "enriched bread"). It is certain (fig. 2) that the level of particular ingredients in the formulation impacts product classification and the model has been correctly identifying those ingredients. These results are well aligned with industry standards and baker's classification of the final product.

The score threshold (S.T.) for the proposed model was set at the level of 95%. This means that the model category classification will be considered as positive if the accuracy of the prediction achieves 95% or higher. As it can be seen (fig. 3), the share of correct classification predictions created by the model ("Accuracy") for both product groups does not decline below 96%, and the share of correct positive predictions created by the model ("Precision") is 100%.

	A	C	D	K	L	M	N	BL
	Application	Wheat flour, breadmaking (extraction rate 75%)	Rye flour, bolted (extraction rate 85 %)	Yeast, baker's, compressed	Yeast, dried	Salt, table	Sourdough, Rye, Bocker 350	Water, tap, drinking, average values
1								
5222	Bread	0.3986	0.1708	0.0140	0.0000	0.0090	0.0100	0.3976
5223	Bread	0.4006	0.1718	0.0110	0.0000	0.0070	0.0100	0.3996
5224	Bread	0.4000	0.1710	0.0110	0.0000	0.0090	0.0100	0.3990
5225	Bread	0.3994	0.1712	0.0110	0.0000	0.0100	0.0100	0.3984
5226	Bread	0.3980	0.1710	0.0170	0.0000	0.0070	0.0100	0.3970
5227	Bread	0.3976	0.1698	0.0170	0.0000	0.0090	0.0100	0.3966
5228	Bread	0.3970	0.1700	0.0170	0.0000	0.0100	0.0100	0.3960
5229	Bread	0.3990	0.1710	0.0140	0.0000	0.0070	0.0100	0.3990
5230	Bread	0.3980	0.1710	0.0140	0.0000	0.0100	0.0100	0.3970
5231	Bread	0.3986	0.1708	0.0000	0.0040	0.0070	0.0100	0.4096
5232	Bread	0.3972	0.1707	0.0000	0.0050	0.0090	0.0100	0.4082
5233	Bread	0.3970	0.1700	0.0000	0.0060	0.0100	0.0100	0.4070
5234	Bread	0.3964	0.1702	0.0140	0.0000	0.0080	0.0130	0.3984
5235	Bread	0.3980	0.1710	0.0110	0.0000	0.0070	0.0130	0.4000
5236	Bread	0.3974	0.1702	0.0110	0.0000	0.0090	0.0130	0.3994
5237	Bread	0.3970	0.1700	0.0110	0.0000	0.0100	0.0130	0.3990
5238	Bread	0.3956	0.1698	0.0170	0.0000	0.0070	0.0130	0.3976
5239	Bread	0.3954	0.1692	0.0170	0.0000	0.0080	0.0130	0.3974
5240	Bread	0.3944	0.1692	0.0170	0.0000	0.0100	0.0130	0.3964
5241	Bread	0.3970	0.1700	0.0140	0.0000	0.0070	0.0130	0.3990
5242	Bread	0.3956	0.1698	0.0140	0.0000	0.0100	0.0130	0.3976

Fig. 1. Example of a normalized recipe

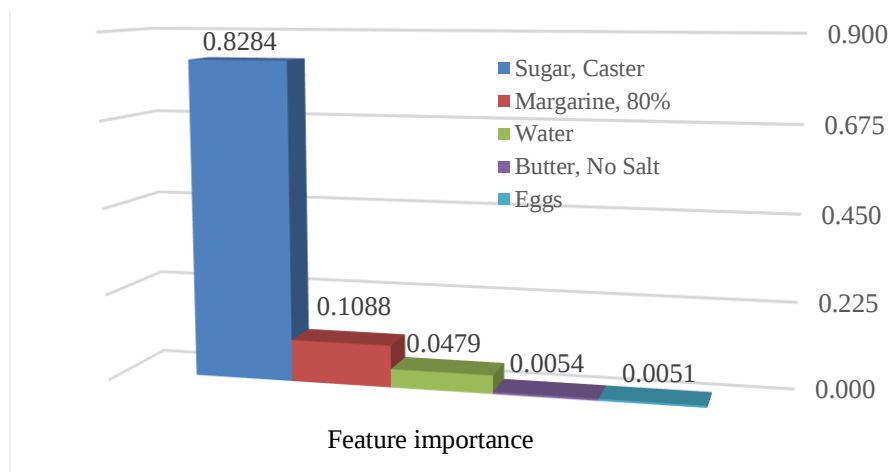


Fig. 2. Feature importance of the recipe ingredients

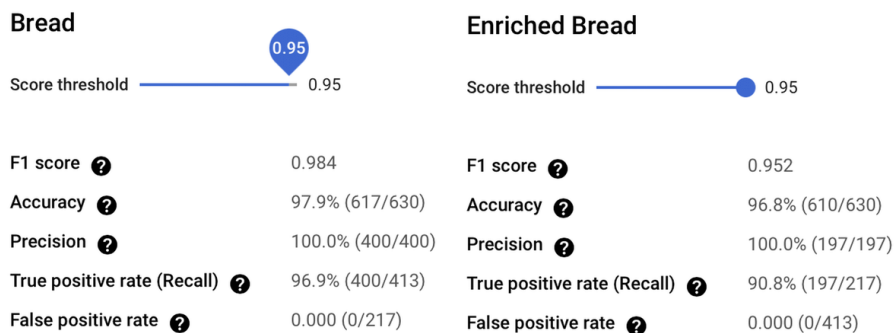


Fig. 3. Model evaluation summary of both application categories

At the same time, the share of real positive results for bread reaches almost 97%, and for enriched bread — almost 91%.

Conclusions

Analysis the model evaluation outcome allows to conclude that the process of preparing the database and the ML is considered to be carried out correctly based on the following:

Feature importance of the recipe ingredients has been identified correctly with fat and sugar level being the key factors that impacts the classification of the final application. Within Ukrainian regulation, if the total level of sugar and fat is higher than 14%, the application should be classified as "Enriched bread".

There are no false positive cases meaning that the model managed to correctly characterize each recipe and assign a category to it.

True positive rate (recall) is higher than 90% overall between 2 application categories proving that only 10% or less of the positive class were predicted with lower than 95% accuracy.

100% precision across both types of the application underline that all classified recipes with the S.T. >0.95 were done correctly.

The overall F1 score is >0.95 (as a harmonic mean of Precision and Recall) confirms that the obtained model, performs correct product classification with high achieved accuracy, despite learning on the unevenly distributed dataset.

Thus, it can be stated that the model is ready for further use in the development of bakery related AI systems. The simplest option can be generation of new recipes based on raw material specified by the user and technologically acceptable limits of their introduction. It will also be possible to select recipe components to create products with a specified chemical composition or a specific biological value. However, this will require connecting existing databases of the chemical composition of raw materials to the created system and taking into account changes in the product's main components during the technological process. Such work is planned for the future and will be covered in further publications.

References

Carlos, H. (2018). Creating Recipes using Machine Learning and Computational Creativity. *Thesis to obtain the Master of Science Degree in Information Systems and Computer Engineering*.

- Chidinma-Mary-Agbai (2020). Application of artificial intelligence (AI) in food industry. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 13(01), 171—178. doi:10.30574/gscbps.2020.13.1.0320.
- Fisher, D. H. (2016). Meal Planning from an Abstraction Hierarchy of Menus and Recipes. *ICCBR Workshops*. 235—242.
- Guiné, R. (2019). The use of artificial neural networks (ANN) in food process engineering. *International Journal of Food Engineering*, 5(1), 15—21. doi:10.18178/ijfe.5.1.15-21.
- Jabeen, H., Nargis T., & Lehmann, J. (2019). EvoChef: Show Me What to Cook! Artificial Evolution of Culinary Arts. *Computational Intelligence in Music, Sound, Art and Design. EvoMUSART 2019*. Lecture Notes in Computer Science, vol. 11453. Springer, Cham., 156—172. doi:10.1007/978-3-030-16667-0_11.
- Jermurawong, J. & Habash, N. (2015). *Predicting the Structure of Cooking Recipes*. In Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 781—786, Lisbon, Portugal. Association for Computational Linguistics. doi:10.18653/v1/D15-1090.
- Kicherer, H., Dittich, M., Grebe, L., Scheible, C. & Klinger, R. (2018). What you use, not what you do: Automatic classification and similarity detection of recipes. *Data & Knowledge Engineering*. 117, 252—263. doi:10.1016/j.datak.2018.04.004.
- Kumar, I., Rawat, J., Mohd, N., & Husain, S. (2021). Opportunities of Artificial Intelligence and Machine Learning in the Food Industry. *Journal of Food Quality*, 2021, 1—10. doi:10.1155/2021/4535567.
- Matthew N. O. Sadiku, Omobayode I. Fagbohunge, & Sarhan M. Musa. (2020). Artificial Intelligence in Food Industry. *International Journal of Engineering Research and Advanced Technology (ijerat)* (E-ISSN 2454-6135), 6(10), 12—19. doi:10.31695/IJERAT.2020.3649.
- Müller, G. & Bergmann, R. (2017, June). Cooking Made Easy: On a Novel Approach to Complexity-Aware Recipe Generation. In *ICCBR (Workshops)*, 229—236.
- O'Brien, M. & Rivas, P. (2019). *Optimizing Cookie Recipes for Ratings Using Machine Learning and Deep Vector-to-Sequence Recurrent Neural Models*. 21st International Conference on Artificial Intelligence (ICAI 2019). 469—472.
- Ohene, M. (2017). A Proposed General Formula to Create and Analyze Baking Recipes. *ICCBR(Workshops)*. 245—252.
- Soltani-Fesaghandis, G. & Pooya, A. (2018). Design of an artificial intelligence system for predicting success of new product development and selecting proper market-product strategy in the food industry. *International Food and Agribusiness Management Review*. 21. 1—18. doi:10.22434/IFAMR2017.0033.
- Steluti, J., Junior, J., & Marchioni, D. (2020). Development of quality index to classify meal healthiness through photos: First step for app of meal assessment using Machine Learning. Proceedings of the Nutrition Society, 79(OCE2), E274. doi:10.1017/S0029665120002220.
- Kakani, V., Nguyen, V. H., Kumar, B. P., Kim, H. & Pasupuleti, V. R. (2020). A critical review on computer vision and artificial intelligence in food industry. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100033. doi:10.1016/j.jafr.2020.100033.

VISCOSPRINGY PROPERTIES OF CORN STARCH SUSPENSIONS PREPARED WITH ELECTROCHEMICALLY ACTIVATED WATER

A. Marynin, V. Shpak

National University of Food Technologies

Key words:

*Electrochemically
activated water
Anolyte
Catholyte
Corn starch
Starch suspension
Rheological indicators*

Article history:

Received 02.03.2023
Received in revised form
17.03.2023
Accepted 05.04.2023

Corresponding author:

A. Marynin
E-mail:
andrii_marynin@ukr.net

ABSTRACT

Water has the ability to regulate the physiological processes of the human body, which characterizes its biological activity. Macro- and microelements, vitamins, amino acids, etc. enter the body with water and food.

Nowadays, the issue of the influence of activated water on the structure and course of processes in food systems with its content is insufficiently covered in scientific sources, which is a perspective for research. Due to its physical and chemical properties, activated water can influence the quality indicators and structure of products containing it. Thus, in the recipes of many products, corn starch is used as an emulsifier. The purpose of the research was to determine the effect of activated water on the viscospringy indicators of corn starch suspensions.

Activated water significantly affects the elastic and viscous properties of corn starch suspensions. The storage modulus of the samples on the catholyte and anolyte at 25 °C had a significantly higher value than the shear modulus of the control sample at zero frequency. This indicator increased with increasing frequency. The loss modulus of all samples of starch pastes increased with an increase in the scanning frequency, however, at the pasteurization temperature, the increase occurred less intensively: in the frequency range of 0.1—10 Hz for the sample on tap water, the studied indicator increased by 63.6 ± 0.5 times, on the catholyte and anolytes — 41.5 ± 0.5 and 43.7 ± 0.5 times, respectively. At 25 °C, this indicator increased by 41.7 ± 0.5 ; 22.1 ± 0.5 and 23.1 ± 0.5 times.

Over the entire range of the frequency sweep, the complex shear stress of suspensions increased, and the control indicators at 25 °C and at 68 °C were lower than the corresponding values for suspensions on catholyte and anolyte.

Thus, activated water affects the rheological indicators of starch suspensions, which in turn will be reflected in the structural and mechanical properties and consistency of products containing such suspensions in the formulation.

В'ЯЗКОПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ СУСПЕНЗІЙ КУКУРУДЗЯНОГО КРОХМАЛЮ НА ЕЛЕКТРОХІМІЧНО АКТИВОВАНІЙ ВОДІ

А. І. Маринін, В. В. Шпак

Національний університет харчових технологій

Вода має здатність регулювати фізіологічні процеси життєдіяльності організму людини, чим характеризується її біологічна активність. З водою та продуктами харчування в організм потрапляють макро- та мікроелементи, вітаміни, амінокислоти тощо.

Наразі питання впливу активованої води на структуру та перебіг процесів у харчових системах з її вмістом висвітлено в наукових джерелах недостатньо, що є перспективою для досліджень. Активована вода завдяки своїм фізико-хімічним властивостям здатна впливати на показники якості та структуру продуктів з її вмістом. Так, у рецептурах багатьох продуктів як емульгатор застосовують крохмаль, переважно кукурудзяний.

У статті досліджено вплив активованої води на в'язкопружні показники суспензій кукурудзяного крохмалю. З'ясовано, що активована вода суттєво впливає на еластичні та в'язкі властивості суспензій кукурудзяного крохмалю. Модуль зберігання зразків на катоді та аноді при 25 °C мав значно вище значення за контрольний зразок при нульовій частоті модуль зсуву. Зі збільшенням частоти цей показник збільшувався. Модуль втрат усіх зразків крохмальних клейстерів збільшувався зі збільшенням частоти розгортки, однак при температурі клейстеризації збільшення відбувалось менш інтенсивно: в діапазоні частот 0,1—10 Гц для зразка на водопровідній воді досліджуваній показник збільшився у 63,6±0,5 раза, на катоді та аноді — у 41,5±0,5 та 43,7±0,5 раза відповідно. При 25 °C цей показник збільшився у 41,7±0,5; 22,1±0,5 та 23,1±0,5 раза.

По всьому діапазону частотної розгортки комплексна напруга зсуву суспензій зростала, причому показники контролю і при 25 °C і при 68 °C були нижчими за відповідні значення для суспензій на катоді та аноді.

Отже, активована вода впливає на реологічні показники крохмальних суспензій, що, у свою чергу, відобразиться на структурно-механічних властивостях та консистенції продуктів з вмістом таких суспензій у рецептурі.

Ключові слова: електрохімічно активована вода, анод, катод, кукурудзяний крохмаль, крохмальна суспензія, реологічні показники.

Постановка проблеми. Вода має здатність регулювати фізіологічні процеси життєдіяльності організму людини, чим характеризується її біологічна активність. З водою та продуктами харчування в організм потрапляють макро- та мікроелементи, вітаміни, амінокислоти тощо.

Здатність води регулювати фізіологічні процеси життєдіяльності організму людини виражається її біологічною активністю. У воді містяться макро- та

мікроелементи, вітаміни, амінокислоти тощо, які з водою та продуктами харчування потрапляють в організм людини.

На сьогодні у світі гостро стоїть питання доброякісності води, а також пошук способів набуття питною водою ознак харчової (біологічної) цінності. Проте вода зі зміненими властивостями буде мати вплив не тільки на організм людини, а й на якісні показники продуктів, до складу яких входите.

Наразі питання впливу активованої води на структуру та перебіг процесів у харчових системах з її вмістом висвітлено в наукових джерелах недостатньо, що є перспективою для досліджень.

Перспективою для досліджень є вивчення впливу активованої води на структуру та перебіг процесів у харчових системах з її вмістом. Наразі ці питання потребують більш глибокого вивчення. Активована вода завдяки своїм фізико-хімічним властивостям здатна впливати на показники якості та структуру продуктів з її вмістом. Так, у рецептурах багатьох продуктів як емульгатор застосовують крохмаль, переважно кукурудзяний.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Доведено, що молекулярний водень, який міститься у воді, вибірково реагує з високореактивними цитотоксичними оксидантами безпосередньо всередині клітин. Саме ці найбільш реакційно здатні активні форми кисню беруть участь у патогенезі більшості відомих захворювань і патологічних станів різних органів та систем організму (Ohsawa та ін., 2007).

Молекулярний водень має низьку розчинність у воді (при нормальних умовах в 100 мл води концентрація водню — від 0,5 до 10 мг) і внаслідок високої дифузійної здатності водню його концентрація у воді є нестійкою. Розроблена технологія виготовлення водневої води методом прямої сатурації і герметичного закупорювання в скляну тару, що дає змогу зберігати концентрацію водню у воді близько 2 мг/л протягом 12 місяців при дотриманні умов зберігання (Kurokawa, Seo, Sato, Hirano, & Sato, 2015).

На фізіологічні властивості води впливає її хімічний склад, ступінь очищення та ряд інших комплексних фізичних параметрів, які характеризують воду як складну структуровану систему, особливо з енергетичної точки зору (Miyaji, Kohno, Inoue, & Baba, 2017).

Для отримання води, яка демонструє біологічний відгук певний значущий час, проводять процес її активації (Mghaiouini, Elmlouky, El Moznine, Monkade, & El Bouari, 2020). Існують кілька способів активації води: хімічний, фізичний, біохімічний та електрохімічний.

Ефективне пом'якшення токсичних і стійких комплексів важких металів у воді має вирішальне значення для гарантування здоров'я та безпеки навколишнього середовища, але все ще існує багато проблем в цій сфері. Встановлено можливість пом'якшення видоутворення важких металів методом елімінації стійких комплексів цих металів, наприклад, фізична сепарація та хімічна декомплексация (Xu, Zhang, Li, & Huang, 2022).

Технологія біохімічної очистки передбачає використання мікробного метаболізму для розкладання та поглинання бактерій, що може не тільки досягти мети контролю забруднення, але й реалізувати повторне використання очищеної води

для ефективного вирішення проблеми дефіциту водних ресурсів (Al-Ghouthi, Al-Kaabi, Ashfaq, & Da'na, 2019).

Дослідниками встановлено, що вода, оброблена в електричних електромагнітних, вібраційних або магнітних полях змінює фізико-хімічні властивості: прискорюються коагуляція і абсорбція, змінюються розчинність солей і концентрація газів, кристалізація і змочування, магнітна сприйнятливість, в'язкість, гідратація іонів, кінетика хімічних реакцій, що дає змогу зберегти свою біологічну активність протягом тривалого періоду часу (Малкін, Фуртат, Журавська, & Усачов, 2014).

Але найефективнішим способом активації води визнано електрохімічний. Електрохімічна активація водних систем здійснюється шляхом анодної чи катодної електричної обробки води в діафрагмовому електрохімічному реакторі-електролізері.

Завдяки дослідженню впливу електрохімічно активованої води на структуру та властивості біополімерів встановлено, що використання однієї з її фаз, а саме аноліту, який має бактерицидну дію на білкову сировину (Cloete, Thantsha, Maluleke, & Kirkpatrick, 2009), дає змогу виключити антисептичні реагенти з технологічного процесу (Robinson, Lee, Greenman, Salisbury, & Reynolds, 2010).

У результаті електрохімічної активації вода переходить у метастабільний (активований) стан з надзвичайно високою активністю електронів і характерною для збуджених систем релаксацією після відключення джерела електричного струму.

Досліджено функціональний стан організму при щоденному вживанні водневої води та встановлено позитивні зміни в роботі систем в організмі людини. У дорослих помічено поліпшення енергетичного забезпечення ряду органів і систем. В організмах дітей спостерігалось покращення функціонування вегетативної нервової системи, а також регуляції ритмічної активності серця завдяки посиленню автономізації синусного вузла. Тобто вживання окисненої питної води спричиняє цілком очікуваний закономірний позитивний вплив на здоров'я дорослих і дітей (Aoki, Ida, Fukushima, & Matsumura, 2022).

Активована вода завдяки своїм фізико-хімічним властивостям здатна впливати на показники якості та структуру продуктів з її вмістом. Так, у рецептурах багатьох продуктів як емульгатор застосовують крохмаль, переважно кукурудзяний. Гранули крохмалю при додаванні води здатні гідратуватись і набухати, надаючи структуру продуктам з вмістом таких суспензій (Majzoobi, & Farahnaky, 2021). Оскільки активована вода має відмінний від водопровідної склад і властивості, можна передбачити її вплив властивості крохмалю та особливо реологічні параметри крохмальних суспензій з її вмістом (Большак, Маринін, Святненко, & Шпак, 2021).

Мета дослідження: визначити вплив активованої води на в'язкопружні показники суспензій кукурудзяного крохмалю.

Матеріали і методи. Підготовка зразків. Для проведення досліджень було використано електрохімічно активовану воду, одержану за допомогою лабораторного діафрагмового електролізера. Для отримання електрохімічно активованої води використовували водопровідну воду (постачальник — підприємство АТ «Київводоканал»), яка характеризувалась показниками ОВП=+224, рН=6. Було

отримано два дослідних зразки активованої води з різними заданими параметрами ОВП: католіт (ОВП= -542 ± 20 , рН=10) та аноліт (ОВП= $+767 \pm 15$, рН=3).

Суспензії кукурудзяного крохмалю готували у співвідношенні кукурудзяний крохмаль: вода 1:10 з використанням католіту та аноліту при температурі $t = 23 \pm 2$ °С (температура, при якій починається модифікація крохмалю), суспензії витримували протягом 2 год для забезпечення гідратації крохмалю. Контролем був зразок суспензії на водопровідній воді.

Реологічні характеристики суспензій. Для проведення реологічних випробувань було проаналізовано суспензії при температурі 25 та 68 °С. Зміни структури та реологічні характеристики кукурудзяного крохмалю було досліджено після його модифікації за допомогою використання водопровідної та активованої води. Термообробка застосовувалась при 68 °С, оскільки таке значення є середнім значенням температурного діапазону клейстеризації кукурудзяного крохмалю. В температурному діапазоні 25—68 °С крохмаль поступово переходив з одного стану в інший (Malumba та ін., 2010).

Визначення реологічних характеристик проводили на реометрі Kinexus Pro+, використовуючи геометрію — Starch Paddle Plastic 2 Blade, яка являє собою коаксіальний циліндр з лопатевою мішалкою (PC34 SL0007 SS), закріпленою на вертикальному валу. Підготовану суспензію поміщали у циліндр на висоту 70 мм, опускали мішалку доводили до температури 25 °С. Криві залежності реологічних параметрів від частоти визначали в діапазоні частотної розгортки 0—10 Гц при сталій деформації зсуву 1%. Кожен крок підтримувався до досягнення стабільного стану за мінімальний час. Аналогічно експеримент було проведено після нагрівання суспензії до 68 °С (Alvarez, Fuentes, & Canet, 2015).

Статистичний аналіз. Усі досліді проводили в трьох повторях, як кінцеве значення обирали середнє арифметичне значення трьох проб.

Викладення основних результатів дослідження. Кукурудзяний крохмаль володіє емульгуючими властивостями, здатністю до набухання та гелеутворення при нагріванні в присутності води, завдяки чому здатен відігравати важливу роль у формуванні структури харчових продуктів.

Для характеристики еластичних і в'язких властивостей крохмальної суспензії визначали зміну показників модуля зберігання G' і модуля втрат G'' (рис. 1), а також комплексну компоненту модуля зсуву G^* (рис. 2) (Sudheesh та ін., 2019).

При нульовій частоті модуль пружності G' зразків на католіті та аноліті при 25 °С мав значно вище значення за контрольний зразок (2,5, 1,9 та 0,5 Па відповідно). При 68 °С тенденція аналогічна, однак різниця значень менша (0,6, 0,7 та 0,2 Па відповідно). G' усіх крохмальних суспензій збільшувався зі збільшенням частоти до певного значення, після чого всі криві мали виражений мінімальний екстремум (значення модуля зсуву різнилось не значно і становило 0,2—0,7 Па для усіх зразків) з подальшим збільшенням значень досліджуваного параметра. Для суспензій на католіті та аноліті при 25 °С екстремум досягався за частоти 6,3 Гц в той час, як для контрольного зразка раніше — при 4 Гц. Схожа тенденція спостерігалась для клейстерів: на католіті та аноліті — при 3,2 Гц, на водопровідній воді — при 2 Гц. Це можна пояснити тим, що в суспензії твердих частинок важливу роль відіграють міжчасткові контакти, а при певних частотах відстань між окремими частинками крохмалю різко зменшується, особливо при

високій об'ємній частці гранул крохмалю (Gálvez, De Beer, van der Meer, & Pons, 2017).

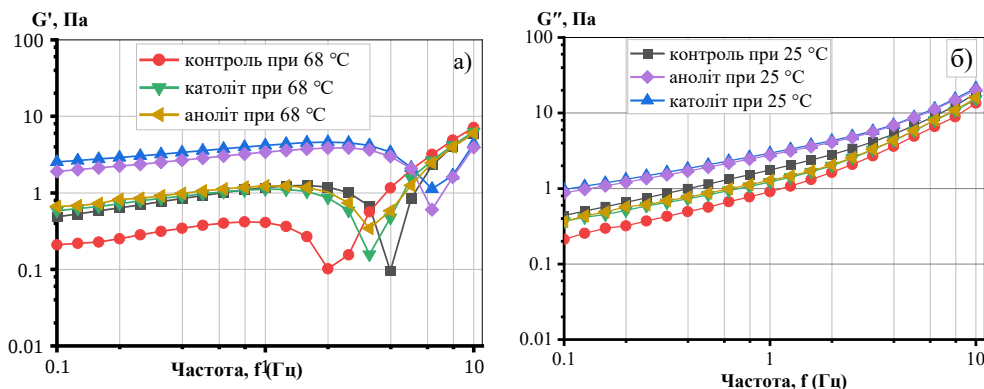


Рис. 1. Залежність модуля пружності (модуля зберігання) G' (а) та модуля в'язкості (модуля втрат) G'' (б) зразків суспензій кукурудзяного крохмалю при температурах 25 °С та 68 °С, приготованих на воді з різними показниками ОВП, від частоти

G'' усіх крохмальних клейстерів збільшувався зі збільшенням частоти розгортки, однак в усіх зразках при температурі клейстеризації збільшення відбувалось менш інтенсивно: в діапазоні частот 0,1—10 Гц для зразка на водопровідній воді досліджуваній показник збільшився у $63,6 \pm 0,5$ разів, на катоді та аноді — у $41,5 \pm 0,5$ та $43,7 \pm 0,5$ раза відповідно.

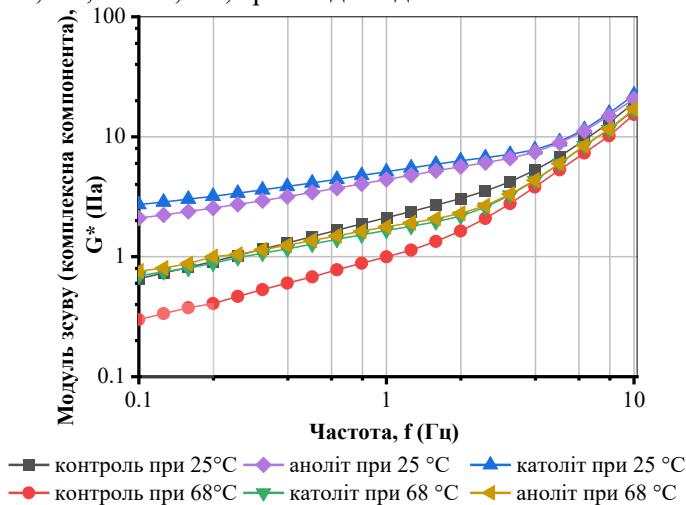


Рис. 2. Залежність модуля зсуву (комплексної компоненти) G^* зразків суспензій кукурудзяного крохмалю при температурах 25 °С та 68 °С, приготованих на воді з різними показниками ОВП, від частоти

При 25 °С G'' зразків збільшився у $41,7 \pm 0,5$; $22,1 \pm 0,5$ та $23,1 \pm 0,5$ раза. При цьому значення модуля зсуву контрольного зразка значно нижче, ніж на аноді

та католіті в усьому діапазоні частот та при досліджуваних температурах суспензій. Це пояснюється підвищенням міцності гелю крохмалю за рахунок того, що під час приготування суспензії при взаємодії активованої води та крохмального зерна на поверхні гранул крохмалю відбувається перегрупування одиниць амілози (Sudheesh та ін., 2020).

Значення модуля в'язкості зразків клейстеризованого крохмалю нижчі за значення при 25 °С, що пов'язано з властивостями кукурудзяного крохмалю.

На основі проведених досліджень встановлено, що електрохімічна активація води сприяє зміні властивостей сировини з її вмістом, зокрема крохмалю, а також значно впливає на реологічні показники крохмальних суспензій. Це, у свою чергу, відобразиться на структурно-механічних властивостях і консистенції продуктів з вмістом таких суспензій у рецептурі.

Висновки

1. Активована вода впливає на еластичні властивості суспензій кукурудзяного крохмалю. Модуль зберігання (G') зразків на католіті та аноліті при 25 °С мав значно вище значення за контрольний зразок при нульовій частоті модуль зсуву. Зі збільшенням частоти цей показник збільшувався.

2. Вплив активованої води прослідковується також і на в'язкі властивості суспензій кукурудзяного крохмалю. Модуль втрат усіх зразків крохмальних клейстерів збільшувався зі збільшенням частоти розгортки, однак при температурі клейстеризації збільшення відбувалось менш інтенсивно: в діапазоні частот 0,1—10 Гц для зразка на водопровідній воді досліджуваний показник збільшився у $63,6 \pm 0,5$ разів, на католіті та аноліті — у $41,5 \pm 0,5$ та $43,7 \pm 0,5$ рази відповідно. При 25 °С цей показник збільшився у $41,7 \pm 0,5$; $22,1 \pm 0,5$ та $23,1 \pm 0,5$ рази.

3. Отже, активована вода впливає на реологічні показники крохмальних суспензій, що, у свою чергу, відобразиться на структурно-механічних властивостях та консистенції продуктів з вмістом таких суспензій у рецептурі.

Література

Большак, Ю. В., Маринін, А. І., Святненко, Р. С., Шпак, В. В. (2021). Біоелектроніка і закономірності набуття оздоровчих властивостей питною водою, збагаченою молекулами водню. *Наукові праці НУХТ*, 27(5), 57—66. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2021-27-5-9>.

Малкін, Є. С., Фуртат, І. Є., Журавська, Н. Є., Усачов, В. П. (2014). Перспективи створення ресурсозберігаючих технологій шляхом магнітної обробки води та водних розчинів. *Вентиляція, освітлення та водопостачання*, 17, 120—127.

Alvarez, M. D., Fuentes, R., Canet, W. (2015), Effects of Pressure, Temperature, Treatment Time, and Storage on Rheological, Textural, and Structural Properties of Heat-Induced Chickpea Gels. *Foods*, 4(2), 80—114. <https://doi.org/10.3390/foods4020080>.

Al-Ghouti, M. A., Al-Kaabi, M. A., Ashfaq, M. Y., Da'na, D. A. (2019). Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 28, 222—239. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.001>.

Aoki, K., Ida, Y., Fukushima, N., Matsumura, H. (2022). Topical application of oxygen nanobubble water enhances the healing process of ischaemic skin wound healing in an animal model. *International Wound Journal*, 19(7), 1843-1852. <https://doi.org/10.1111/iwj.13790>.

Cloete, T. E., Thantsha, M. S., Maluleke, M. R., Kirkpatrick, R. (2009). The antimicrobial mechanism of electrochemically activated water against *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli*

as determined by SDS-PAGE analysis. *Journal of Applied Microbiology*, 107(2), 379—384. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04233.x>.

Gálvez, L. O., De Beer, S., van der Meer, D., Pons, A. (2017). Dramatic effect of fluid chemistry on comstarch suspensions: Linking particle interactions to macroscopic rheology. *Physical Review E*, 95(3), 030602. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.95.030602>.

Kolli, V. G., Pollauf, E. J., Gadala-Maria, F. (2002). Transient normal stress response in a concentrated suspension of spherical particles. *Journal of Rheology*, 46(1), 321—334. <https://doi.org/10.1122/1.1428320>.

Kurokawa, R., Seo, T., Sato, B., Hirano, S. I., Sato, F. (2015). Convenient methods for ingestion of molecular hydrogen: drinking, injection, and inhalation. *Medical Gas Research*, 5(1), 1—8. <https://doi.org/10.1186/s13618-015-0034-2>.

Malumba, P., Janas, S., Roiseux, O., Sinnaeve, G., Masimango, T., Sindic, M., Deroanne, C., Béra, F. (2010). Comparative study of the effect of drying temperatures and heat-moisture treatment on the physicochemical and functional properties of corn starch. *Carbohydrate polymers*, 79(3), 633—641. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.09.013>.

Majzoobi, M., Farahnaky A. (2021). Granular cold-water swelling starch; properties, preparation and applications, a review. *Food Hydrocolloids*, 111, 106393. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106393>.

Miyaji, A., Kohno, M., Inoue, Y., Baba, T. (2017). Hydroxyl radical generation by dissociation of water molecules during 1.65 MHz frequency ultrasound irradiation under aerobic conditions. *Biochemical and biophysical research communications*, 483(1), 178—182. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2016.12.171>.

Mghaiouini, R., Elmlouky, A., El Moznine, R., Monkade, M., El Bouari, A. (2020). The influence of the electromagnetic field on the electric properties of water. *Mediterranean Journal of Chemistry*, 10(5), 507-515.

Ohsawa, I., Ishikawa, M., Takahashi, K., Watanabe, M., Nishimaki, K., Yamagata, K., Katsura, K.-I., Katayama, Y., Asoh, S., Ohta, S. (2007). Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. *Nature medicine*, 13(6), 688-694. <https://doi.org/10.1038/nm1577>

Robinson, G.M., Lee, S.W-H., Greenman, J., Salisbury, V.C., Reynolds, D.M. (2010). Evaluation of the efficacy of electrochemically activated solutions against nosocomial pathogens and bacterial endospores. *Letters in Applied Microbiology*, 50(3), 289—294. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2009.02790.x>.

Sudheesh, C., Sunooj, K. V., Sinha, S. K., George, J., Kumar, S., Murugesan, P., Arumugam, S., Kumar, K. A., Kumar, V. A. S. (2019). Impact of energetic neutral nitrogen atoms created by glow discharge air plasma on the physico-chemical and rheological properties of kithul starch. *Food Chemistry*, 294, 194—202. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.067>.

Sudheesh, C., Sunooj, K. V., Anjali, K. U., Aaliya, B., Navaf, M., Kumar, S., Sajeekumar, V. A., George, J. (2020). See fewer authors Effect of lysine incorporation, annealing and heat moisture treatment alone and in combination on the physico-chemical, retrogradation, rheological properties and in vitro digestibility of kithul (*Caryota urens L.*) starch. *International Journal of Food Science & Technology*, 55, 2391—2398. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14488>.

Xu, Z., Zhang, Q., Li, X., Huang, X. (2022). A critical review on chemical analysis of heavy metal complexes in water/wastewater and the mechanism of treatment methods. *Chemical Engineering Journal*, 429, 131688. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131688>.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» запрошує вас до публікації наукових праць (<http://sw.nuft.edu.ua>).

До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Автор, який подає матеріали до друку, зберігає за собою всі авторські права та надає відповідному виданню право першої публікації, дозволяючи розповсюджувати матеріал із зазначенням авторства й джерела первинної публікації, а також погоджується на розміщення її електронної версії на сайті Національної бібліотеки ім. В. І. Вернадського та у відкритому доступі в електронній мережі університету. Автор надає право редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути видана лише одна стаття автора (як власна, так і в співавторстві).

На електронну адресу журналу (prnuht@ukr.net) необхідно надіслати такі документи:

- файл статті;
- рецензію доктора наук певної галузі (за тематичною спрямованістю статті). Якщо один із авторів статті є доктором наук, то рецензія необов'язкова;
- заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті подаються у вигляді вичитаних роздрукувань на папері формату A4 (поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word). У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані.

Обсяг дослідницької статті має бути не менше 10 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). У дослідницькій статті має бути проаналізовано не менше 15 джерел. Обсяг оглядової статті має бути не менше 25 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). В оглядовій статті повинно бути проаналізовано не менше 40 джерел.

ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ

1. Індекс УДК.
2. Назва статті (англійською та українською мовами).
3. Ініціали та прізвища авторів англійською та українською мовами.
4. Анотація англійською та українською мовами (не менше 1800 символів з пробілами). Анотація має бути максимально інформативною, це окремий текстовий документ, у якому лаконічно викладені результати дослідження. У тексті анотації не варто використовувати загальні фрази, вказувати несуттєві деталі й загальновідомі положення. Також слід уникати прямих повторів будь-яких фрагментів статті.
5. Ключові слова (5—6 слів/ключових словосполучень англійською та українською мовами).
6. Структура текстової частини:
 - постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями;
 - аналіз останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор;
 - формулювання мети статті;
 - викладення основних результатів дослідження;
 - висновки і перспективи подальших наукових досліджень.
7. Після тексту статті в алфавітному порядку наводиться список літературних. **Бібліографічні описи оформляються згідно з міжнародним стилем APA.** Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на наукові праці останніх років. Наприкінці кожної публікації наводиться ідентифікатор DOI у форматі <https://doi.org/.....>, якщо він є, або посилання на публікацію. Також слід обмежити посилання на власні публікації, оскільки це знижує наукову цінність статті та індекс цитування автора. Не можна посилатись на національні стандарти, технічні умови, підручники, конспекти лекцій, лабораторні практикуми та іншу ненаукову літературу. Посилання на патенти слід робити в тексті статті, вказавши лише номер та назву патенту.

У статті мають бути проаналізовані напрацювання вчених з усього світу. На основі аналізу сучасних статей з англомовних журналів має бути доведена актуальність теми у світі, визначені питання, які потребують вирішення, сформульована мета дослідження.

8. Таблиці (у Word або Excel) можна подавати як у тексті, так і в окремих файлах (на окремих сторінках). Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Слово «Таблиця» і номер друкуються курсивом, заголовок — напівжирним шрифтом. Таблиці повинні мати книжковий формат і вільно вміщатися у висоту і ширину журнальної сторінки.

9. Ілюстрації (креслення, рисунки, схеми, діаграми) мають бути розміщені в тексті. **Обов'язковою вимогою** є надсилання оригінальних файлів рисунків, створених у програмах-редакторах Corel Draw X6, Origin. Всі елементи рисунка (типи, товщина і колір ліній, шрифт текстів тощо) мають вільно редагуватися у наявному програмному забезпеченні). Рисунки в растрових форматах (bmp, gif, jpeg, tif) або у форматі pdf не приймаються до розгляду, оскільки не можуть вільно редагуватися. **Вимоги до оформлення рисунків:** вісь координат — 0,2 мм, без сітки, сам рисунок (наприклад, крива) — 0,35 мм, текст в рисунку — Times New Roman 9,5, ширина рисунка — до 13 см. Всі рисунки мають бути чорно-білими. Підписи до рисунків набираються безпосередньо під рисунками прямим напівжирним шрифтом.

Фотографії мають бути чіткими та контрастними (формати TIF, JPG з роздільною здатністю 300 dpi), розмірами 6×9. Фотографії друкуються в разі крайньої потреби, якщо наведена на них інформація має значну наукову цінність. Авторам краще завантажити фотографії у хмарний сервіс і в списку літератури дати на них посилання.

10. Математичні формули повинні бути роздруковані з правильним виділенням верхніх і нижніх індексів. Нумерація формул здійснюється арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки. Індеси від скорочених українських слів друкуються прямим шрифтом малими літерами. В індексах, що складаються з двох скорочених слів, після першого скороченого слова ставиться крапка, після другого — крапка не ставиться. Цифри в індексах також друкуються прямим шрифтом. Індеси, позначені латинськими літерами, друкуються курсивом. У формулах літери латинського алфавіту набираються курсивом, грецького й українського — прямим шрифтом.

Хімічні формули набираються прямим шрифтом. Математичні символи, що входять до складу хімічних формул, — курсивом.

Формули вставляються безпосередньо в текст. Прості формули набираються з клавіатури, а складні — за допомогою редактора формул Microsoft Equation 3.0 object або Math Type 5.6. Інші версії редакторів формул є неприйнятними. Символи вставляються тільки через таблицю символів. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

11. Відомості про авторів статті повинні бути наведені за єдиним зразком у вказаному порядку: прізвище (прописними літерами), ім'я та ім'я по батькові (повністю); наукове звання; посада чи професія, місце роботи; телефон, E-mail.

12. Дата надходження статті до редакції (після тексту надрукованого матеріалу).

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається**. Переклад має бути належної якості.

Відсутність будь-якого з пунктів переліку, зазначеного вище, рецензії, невідповідність вимогам до оформлення, наявність орфографічних, граматичних, стилістичних помилок, автоматичний переклад елементів матеріалу є підставою для **відмови** в прийнятті статті до друку.

Автор несе відповідальність за додержання вимог чинного законодавства при підготовці матеріалів, у тому числі норм авторського права і достовірність наведених фактичних даних (цитат, посилань, імен, назв тощо).

Адреса редакції:

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

Контактні телефони: міський — (044) 287-92-95, внутрішній — 92-95.
E-mail: npnuht@ukr.net

SUBMISSION GUIDELINES

Dear colleagues,

The editorial board of the Journal “Scientific works of the National University of Food Technologies” invites you to the publication of your manuscripts (<http://sw.nuft.edu.ua>).

Only the manuscripts that have not previously been published in print and electronic media are accepted. The author who submits materials for publication reserves the copyright and provides the right of first publication to the Journal, allows to distribute the manuscript indicating the authorship and the primary source of publication and agrees to placing the electronic version of the manuscript on the website of the V. I. Vernadsky National Library of Ukraine, publicly available electronic network of the University. The author gives the right to the editorial board to review and reject the material submitted for publication. The author can publish one manuscript (of his/her single authorship or co-authored) per every issue of the Journal.

The following documents are necessary to be sent to the e-mail address of the journal (npnuht@ukr.net):

- Electronic version of the manuscript;
- A review of the manuscript by a doctorate of the corresponding branch of science. If one of the authors is a doctorate him/herself, then a review is not necessary;
- A statement signed by the author(s) that the manuscript has not been published and is not submitted for publication.

REQUIREMENTS FOR MANUSCRIPTS

The electronic version should be submitted in a Microsoft Word document (margins of 2 cm, Time New Roman, type size 14, spacing 1.5). There should be no blank lines in the manuscript. No extra spaces are allowed between the words. All pages of the manuscript should be numbered.

The number of pages of the research article should be at least 10 (excluding abstracts and references). At least 15 references should be analyzed in the research paper. The length of the review article should be at least 25 pages (excluding abstracts and references). At least 40 references should be analyzed in the review article.

The use of automatic translation for any part of your text (manuscript, abstract, keywords) is not allowed. Translation must be of good quality.

The editors reserve the right to edit the manuscript scientifically and literary.

SEQUENCE OF STRUCTURAL ELEMENTS OF THE MANUSCRIPT

1. UDC index.
2. The title of the manuscript (in English, Ukrainian).
3. Full names of the authors in English, Ukrainian (not more than four authors).
4. An abstract in English, Ukrainian (not less than 1800 characters with spaces). The abstract should be highly informative, it is a separate text document in which the results of the research must be summarized. General phrases, insignificant details and well-known provisions shouldn't be written in the abstract. Direct repetitions of any parts of the article should be also avoided.
5. A list of keywords (5—6 words or key phrases in English, Ukrainian).
6. The structure of the text:
 - Problem definition and its relationship with important practical tasks;
 - Analysis of recent studies and publications related to subject matter of the manuscript;
 - Problem statement (statement of purpose of the manuscript);
 - Presentation of the main material;
 - Conclusions and recommendations for further research.
7. A list of references of their quotation should be presented after the text of the manuscript.

Bibliographic descriptions should be made according to international style APA. Bibliographic descriptions should be submitted in the language of their edition. Links to unpublished materials are not allowed. The list of references should contain links only to recent and relevant studies. At the end of each reference, the DOI identifier is provided in the format <https://doi.org/>, if it is, or a link to the publication. National standards, specifications, textbooks, lecture notes, laboratory workshops and other non-scientific literature must not be referenced. References to patents should be made in the text

of the article, indicating only the number and title of the patent. In the list of references, the sources should be presented in alphabetical order.

The investigations of scientists from all over the world should be analyzed in the article. Based on the analysis of modern articles from English-language journals, the relevance of the topic in the world should be proved, the issues which need to be solved should be identified, and the purpose of the research should be formulated.

8. Tables (in Word and Excel) can be submitted both in the text of the manuscript and in separate files (on separate pages). Each table should have a title, typed in bold, and its serial number if there are several tables. The word “Table” and number are printed in italics; the title is printed in bold. Tables should be in book format and fit freely in the height and width of the journal page.

9. Figures, images and tables should be performed in Corel Draw, Origin on white paper and placed both in the text and in separate files. Captions should be typed in bold directly under the figures. Images must be clear and contrasting (TIF, JPG with a resolution of 300 dpi); the size 6×9. Photos are printed in case of extreme necessity, if they provide information of the significant scientific value.

10. Mathematical formulas should be typed with the correct placing of upper and lower indices. The formulas should be numbered by Arabic numerals in parentheses at the right margin of the page. The indices of Ukrainian abbreviated words should be typed in bold and in lower case. The first word of an index, consisting of two abbreviated words, should be followed by a dot, and the second word has no dot. The numbers in the indexes are typed in upright font. Indexes should be typed in Latin letters and in italics. In formulas, the letters of Latin alphabet are typed in italics; Greek and Ukrainian letters are in upright font.

Chemical formulas should be typed in upright font. Mathematical symbols that make up the chemical formulas should be typed in italics.

Formulas should be put directly into the text. Simple formulas are typed from the keyboard, and complex — using the Microsoft Equation 3.0 object or MathType 5.6. Other equation editors are unacceptable. The characters are inserted only through the symbol table. The contraction of physical units must comply with the rules of the International System of Units (SI).

11. Information about the authors should be given as follows: second name (in uppercase letters), first name and patronymic (in full); academic title; position or profession, place of work; phone number, E-mail.

12. The date when the manuscript was received by the editorial board.

The use of **automatic translation** for any part of your text (manuscript, abstract, keywords) **is not allowed**. Translation must be of good quality.

The absence of any item listed above; absence of abstracts; non-compliance to the design requirements; spelling, grammatical, stylistic errors; automatic translation of any part of the manuscript are the grounds **for refusal** to accept the manuscript for publication.

The author is fully responsible for compliance with current legislation, including the rules of copyright and the consistency of data (quotations, references, names, etc.).

Editorial office address:

National University of Food Technologies
Volodymyrska str., 68,
building B,
room 412
01601 Kyiv,
Ukraine
E-mail: npnuht@ukr.net