



2024

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 30 № 3

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

КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2024

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 # 10 from 27th of June, 2024

© NUFT, 2024

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 № 10 від 27 червня 2024 року

© НУХТ, 2024

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 Гєдре Райшене

Agota Giedre Raisiene

д-р екон. наук, Литва

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

Андрій Маринін

Andrii Marynin

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

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

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, доц., Україна

Ph. D., As. 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 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 Лєскаускайте

Daiva Leskauskaite

д-р техн. наук, проф., Литва

Ph. D. Hab., Prof., Kaunas University of Technology, Lithuania

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. E. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Лариса Арсенєва Larisa Arsenyeva	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Микола Костіков Mykola Kostikov	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D., As. 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
Оксана Скроцька Oksana Skrotska	канд. б. наук, доц., Україна Ph. B., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Бутнік-Сіверський Oleksandr Butnik-Siverskyi	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. E. 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
Олена Драган Olena Dragan	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. E. 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
Ольга Петухова Olga Pietukhova	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. E. Hab., 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
Світлана Бондаренко Svitlana Bondarenko	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. C. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Світлана Лігвинчук Svitlana Lityunchuk	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
Сергій Балюта Sergii Baluta	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Сергій Грибков Sergii Hrybkov	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Хууб Лелієвельд Huub Lelieveld	д-р наук, проф., Нідерланди Ph. D. Hab., Prof., President of the Global Harmonization Initiatives, the Netherlands

Автоматизація та інформаційні технології

Новак М. С., Харкянен О. В. Автоматизація процесу валідації методів визначення теплових показників вогнезахисних покриттів на конструкціях будівель харчової промисловості

Біотехнології

Воронцов О. О., Середенко Є. І. Біотехнологічні методи одержання хірургічних ізолюючих матеріалів

Економіка, менеджмент і маркетинг

Овадюк В. О., Драган О. І. Збереження і розвиток персоналу компаній харчової промисловості під час війни

Гарастовська А. В., Петухова О. М. Стан і тенденції розвитку молочної галузі України

Рудова А. Я., Скопенко Н. С. Ризики при впровадженні соціально-відповідальних трудових практик на підприємствах харчової промисловості

Страшинська Л. В., Гривківська О. В., Михайлик О. М. Структурні деформації у виробництві сільськогосподарської продукції та їх наслідки для продовольчої безпеки України

Мардар М. Р., Устенко І. А., Агунова Л. В. Особливості маркетингового просування інноваційних м'ясопродуктів на споживчий ринок України

Механічна та електрична інженерія

Пономаренко В. В., Люлька Д. М., Якобчук Р. Л., Слюсенко А. М., Лементар С. Ю., Хитрий Я. С., Тимченко І. В. Оптимізація конструкції вузлів підведення рідини в скруббер Вентурі на основі CFD досліджень

Доломакін Ю. Ю., Беседа С. Д., Бабанова О. І., Породько П. В. Дослідження гідродинаміки реакційної маси у реакторі-змішувачі

Вольчин І. А., Гапонич Л. С., Шрайбер К. О. Використання інформаційних технологій для створення методу розрахунку викидів CO₂ на теплових електростанціях

Automation and information technologies

7 *Novak M., Kharkianen O.* Automatization of validation methods of thermal performance determination of fire protection coatings applied on the covering structures of the food industry enterprises

Biotechnologies

22 *Vorontsov O., Seredenko E.* Biotechnological methods of obtaining surgical isolating materials

Economy, Management and Marketing

38 *Ovadiuk V., Dragan O.* Retention and development of personnel of food industry companies during the war

48 *Harastovska A., Pietukhova O.* Condition and development trends of the dairy industry in Ukraine

61 *Rudova A., Skopenko N.* Risks of implementing socially responsible labor practices in food industry companies

73 *Strashynska L., Hryvkivska O., Mykhailyk O.* Structural deformations in the production of agricultural products and its consequences for food security of Ukraine

83 *Mardar M., Ustenko I., Agunova L.* Peculiarities of marketing promotion of innovative meat products on the Ukrainian consumer market

Mechanical and Electrical Engineering

101 *Ponomarenko V., Liulka D., Yakobchuk R., Slyusenko A., Lementar S., Khitriy Ya., Tymchenko I.* Optimization of liquid supply nodes design in Venturi scrubbers based on CFD investigations

117 *Dolomakin Y., Beseda S., Babanova O., Porodko P.* Study of the hydrodynamics of the reaction mass in a mixer reactor

129 *Volchyn I., Haponych L., Shraiber K.* The use of information technology for developing a method for calculating CO₂ emissions from thermal power plants

Харчові технології

Food Technologies

- Сімахіна Г. О., Науменко Н. В., Михайлова Р. В., Маслійчук О. Б.* Концептуальні засади формування комбінованого харчового раціону для екстремальних умов життєдіяльності 144 *Simakhina G., Naumenko N., Mykhailova R., Masliychuk O.* Conceptual background for composing the combined diet for people living in extreme conditions
- Данілова К. О., Гріненко І. Г., Грушецький Р. І.* Батат як перспективна сировина для одержання спирту етилового і крафтових напоїв на його основі 156 *Danilova K., Hrinenko I., Hrushetskyi R.* Sweet potato as a promising raw material for producing ethyl alcohol and craft beverages based on it
- Кочубей-Литвиненко О. В., Дубівко А. С., Ви-соцький О. О.* Оцінювання цитотоксичності наночастинок ZnO альтернативним методом на білках плазми крові людини в умовах *in vitro* 167 *Kochubei-Lytvynenko O., Dubivko A., Vysotskyi O.* Evaluation of the cytotoxicity of ZnO nanoparticles using an alternative method on human plasma proteins *in vitro*
- Білик О. А., Черідніченко О. О., Бондаренко Ю. В., Файн А. В.* Використання кисломолочних продуктів у виробництві бездріжджових хлібобулочних виробів 175 *Bilyk O., Cheridnichenko O., Bondarenko Yu., Fain A.* Use of dairy products in the production of yeast-free bakery products
- Авдєєва Л. Ю., Макаренко А. А.* Вплив гідромеханічних і температурних факторів на динамічну в'язкість гарбузового пюре 189 *Avdieieva L., Makarenko A.* Influence of hydro-mechanical and temperature factors on the dynamic viscosity of pumpkin puree
- Камбулова Ю. В., Дудзінський О. В., Кохан О. О., Непийвода В. О.* Вивчення процесу структуроутворення цукеркової маси при виробництві помадних цукерок зі зворотними відходами 199 *Kambulova Yu., Dudzinskiy O., Kohan O., Nepiyvoda V.* Study of the process of structure formation of sugar mass in the production of fondant candies with return waste

Хімічні науки

- Кроніковський О. І., Михалиук А. П., Кроніковська О. П., Стаднічук Н. О.* Особливості комплексоутворення та аналітичні характеристики ациклічних поліетерів 209 *Kronikovskii O., Mikhaliuk A., Kronikovska O., Stadnichuk N.* Complex formation characteristics and analytical properties of acyclic polyethers

AUTOMATIZATION OF VALIDATION METHODS OF THERMAL PERFORMANCE DETERMINATION OF FIRE PROTECTION COATINGS APPLIED ON THE COVERING STRUCTURES OF THE FOOD INDUSTRY ENTERPRISES

M. Novak, O. Kharkianen

National University of Food Technologies

Key words:

*Fire protection coating
Model
Method
Element
Thermal performance
Food industry*

Article history:

Received 07.05.2024
Received in revised form
24.05.2024
Accepted 03.06.2024

Corresponding author:

M. Novak
E-mail:
novak.mikhailo.work@gmail.
com

Citation: Новак М. С.,
Харкянєн О. В. (2024). Ав-
томатизація процесу валі-
дації методів визначення
теплових показників вог-
незахисних покриттів на
конструкціях будівель хар-
чової промисловості. *Нау-
кові праці НУХТ*, 30(3),
7—21.

DOI: 10.24263/2225-2924-
2024-30-3-3

ABSTRACT

The basis for the safety of food production and storage processes in emergency situations is the preservation of the load-bearing capacity of the structural elements of food industry buildings. To ensure this capacity, fire protection coatings made of boards, mats or plaster, with certain thicknesses (thermal performance) are applied to the surface of construction elements. To determine the specified thermal performance, the methods described in different parts of the EN 13381 series of standards are used. However, for these methods, there is uncertainty in the data on the degree of compliance of the results obtained by them with the real (true) values of thermal performance, and the existing approach to their validation does not allow determining these data.

An automated validation procedure for methods to determine the thermal performance of coatings on construction elements of food industry buildings such as walls, floors, beams, columns of production facilities and premises for processing, cooling, freezing and storing food, which is suitable for obtaining reliable data on the deviation of calculated from actual values of thermal performance is presented in the paper. The proposed procedure uses the processes of conducting a full-scale experiment with automated control of the temperature regime in the furnace and identification of the thermal state of experimental elements, adjusting the parameters of the applied model to minimize the deviation of the calculated from the actual thermal performance.

The tasks that need to be solved for the practical implementation of the proposed validation procedure related to the development of an intelligent automated temperature control system in a thermal furnace and the creation of algorithmic and software for the automated process of validating methods.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВАЛІДАЦІЇ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПОКАЗНИКІВ ВОГНЕЗАХИСНИХ ПОКРИВІВ НА КОНСТРУКЦІЯХ БУДІВЕЛЬ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

М. С. Новак, О. В. Харкянєн

Національний університет харчових технологій

Фундаментом безпеки процесів випуску і зберігання продуктів харчування в умовах надзвичайних ситуацій, пов'язаних з пожежами, є збереженість несучої здатності конструкцій будівель харчової промисловості. Для забезпечення цієї здатності на поверхню конструкцій наносять вогнезахисні покриття, виконані з плит, матів або штукатурки, які мають певну товщину (теплові показники). Для визначення цих показників застосовують методи, які наведено в різних частинах серії стандартів EN 13381. Однак для цих методів існує невизначеність даних щодо ступеня відповідності отримуваних за ними результатів реальним (дійсним) значенням теплових показників, а існуючий підхід до їхньої валідації не дає змогу ці дані визначити.

У статті запропоновано автоматизовану процедуру валідації методів визначення теплових показників покриттів на таких конструкціях будівель харчової промисловості як стіни, перекриття, балки, колони виробничих приміщень і приміщень для обробки, охолодження, заморожування й зберігання продуктів. У цій процедурі застосовано процеси проведення натурного експерименту з автоматизованим керуванням температурним режимом у печі та ідентифікацією теплового стану експериментальних зразків конструкцій, порівняння даних щодо теплових показників покриття, отриманих за досліджуванним методом, з дійсними значеннями, визначеними з використанням валідованої моделі, коригування параметрів застосованої моделі для мінімізації відхилення розрахункових від дійсних теплових показників покриття.

Окреслено завдання, які необхідно розв'язати для практичної реалізації запропонованої процедури валідації, що пов'язані з розробленням інтелектуальної автоматизованої системи керування температурним режимом у тепловій печі й створенням алгоритмічного і програмного забезпечення автоматизованого процесу валідації методів визначення теплових показників покриттів на конструкціях будівель харчової промисловості.

Ключові слова: автоматизація, валідація, вогнезахисний покрив, модель, метод, конструкція, тепловий показник, харчова промисловість.

Постановка проблеми. З огляду на створення необхідних умов для випуску і зберігання продуктів харчування виокремлено вимоги стосовно забезпечення безпечності цих процесів в умовах надзвичайних ситуацій, пов'язаних з пожежами, які можуть відбуватися в мирний і воєнний часи. Фундамент такої безпечності складає наявність достовірних даних щодо теплових показників вогнезахисних

покривів (далі — покривів) на таких конструкціях будівель харчової промисловості, як стіни, перекриття, балки, колони виробничих приміщень і приміщень для обробки, охолодження, заморожування і зберігання продуктів. Ці показники визначають значення необхідної мінімальної товщини покриву на поверхні зазначених конструкцій, виконаного з плит, матів або штукатурки, які мають бути для забезпечення збереженості несучої здатності (вогнестійкості) конструкцій протягом певних нормованих проміжків часу впливу стандартного температурного режиму пожежі, поданого в EN 1363-1:2020. Згідно з EN 13501-2:2016 ці проміжки часу становлять від 15 до 240 хвилин. Похибка у значеннях цієї товщини може призводити до руйнування конструкцій і будівель в цілому під час впливу високих температур або до невиправданого збільшення витрат на нанесення покриву (Круковський та ін., 2021).

Для визначення зазначених теплових показників застосовують методи, які наведено в різних частинах серії стандартів EN 13381, що мають загальну назву «Методи випробування для визначення впливу на вогнестійкість елементів конструкцій». У цих стандартах наведено детальний опис експериментальних і розрахункових процедур, необхідних для визначення теплових показників покривів, призначених для металевих і бетонних конструкцій. Однак для цих методів існує невизначеність даних щодо ступеня відповідності отримуваних за ними результатів реальним (дійсним) значенням теплових показників, а існуючий підхід до їхньої валідації не дає змогу ці дані визначати. Тому виправданим є використання автоматизованої процедури валідації зазначених вище методів, здатної шляхом застосування автоматизованого натурального експерименту, сучасних інформаційних технологій, розроблення математичного, алгоритмічного та програмного забезпечення, автоматизації процесу валідації отримувати достовірні дані щодо ступеня, за якого визначені за цими методами результати відповідають дійсним тепловим показникам. Автоматизація процесу валідації як альтернатива «сліпої» та «відкритої» валідації, наведеної в ISO 16730-1:2015, сприятиме підвищенню достовірності (об'єктивності) отримуваних результатів валідації. Недостатня визначеність такої автоматизованої процедури валідації обумовлює актуальність проведення досліджень у цьому напрямі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як зазначено в EN ISO/IEC 17025:2017, валідація (оцінка придатності) методу (методики) вимірювання (випробування, оцінювання) полягає в підтвердженні шляхом дослідження та надання об'єктивних доказів того, що конкретні вимоги до специфічного цільового використання методу виконуються. Можливі цілі валідації методу такі (Magnusson, & Örnemark, 2014; Новіков, 2007):

- підтвердження та надання об'єктивних доказів того, що метод дає змогу проводити вимірювання саме тієї величини, для вимірювання якої він і був розроблений, а також задовольняє встановлені до нього критерії;
- підтвердження чи оптимізація рівняння, що застосовують для обчислення результату вимірювання (перевірка та підтвердження адекватності вибраної математичної моделі вимірюваної величини);
- дослідження характеристик результатів вимірювання цим методом (наприклад, повторюваності, відтворюваності, невизначеності вимірювання) і підтвердження їх відповідності поставленим вимогам;
- встановлення «слабких місць», суттєвих параметрів методу і їх оптимізація.

Для методів, у яких застосовують математичні моделі або алгебраїчні рівняння, валідацію здійснюють шляхом порівняння результатів, отримуваних за методом, який валідують (далі — за досліджуваним методом), з іншим числовим або аналітичним рішенням або з результатом натурального експерименту. Існує багато способів валідації, але загалом їх, зазвичай, класифікують відповідно до методу, який використовують для порівняння, таким чином (Godoy, & Dardati, 2001; Archambeault, & Connor, 2008):

- валідація з використанням інших числових рішень. За цим способом здійснюють порівняння результатів, отримуваних за досліджуваним методом, з результатами, отриманими за допомогою іншого чисельного метода, який було раніше валідовано. Інший підхід до застосування цього способу полягає у використанні більш ніж одного чисельного методу для порівняння. Враховуючи те, що в усіх цих методах використовувані результати повинні мати чітку тенденцію та схожість, знаючи переваги та недоліки кожного з них, можна буде виконати валідацію досліджуваного методу;

- валідація за допомогою аналітичних рішень. Цей спосіб полягає у порівнянні результатів, отримуваних за досліджуваним методом, з аналітичним рішенням. Одна з головних проблем такого підходу в тому, що цей спосіб можна використовувати лише в надзвичайно простих випадках, оскільки знайти аналітичний розв'язок, зазвичай, неможливо. Однак цей спосіб є корисним, коли потрібно перевірити код чисельного методу. Крізь аналітичний розв'язок можна отримати точне значення визначального показника і таким чином зменшити кількість зовнішніх змінних, які можуть вплинути на результати валідації;

- валідація з використанням експериментальних результатів. Цей спосіб найпопулярніший. Це пов'язано з тим, що результати вимірювання показують узгодженість моделі з реальністю (Archambeault, & Connor, 2008). Важливим аспектом для цього способу є вибір відповідних валідаційних експериментів, адже вони надають дані, необхідні для порівняння з результатами, отримуваними за досліджуваним методом, і таким чином безпосередньо впливають на висновок про дійсність (правильність) моделі. Це питання стає ще важливішим у разі наявності обмеження кількості валідаційних експериментів або обсягу експериментальних даних. В праці (Paquette-Rufiange, Prudhomme, & Lafort, 2023) розглянуто питання, які стосуються планування валідаційних експериментів, коли прогноз визначальних показників неможливо здійснити в контрольованому середовищі, і вибору спостережень, коли кількісна оцінка цих показників досить складна. У деяких випадках валідаційні експерименти повинні надавати інформацію, яка в традиційних натурних експериментах, зазвичай, недоступна (Oberkampf, & Trucano, 2008). З метою наближення результатів, отримуваних за досліджуваним методом, до експериментальних під час валідації у деяких випадках застосовують процес калібрування моделі (Lee, Kim, Youn, & Kim, 2019). Калібрування має сенс, якщо повний стохастичний опис експериментальних даних відомий, імовірнісний аналіз був виконаний для числової моделі та існує різниця між виміряними й змодельованими відгуками. Коригування моделі вносить зміну у відгук, що наближає весь спектр числових результатів до експериментального набору даних. Процес калібрування може бути помилковим у разі, якщо невідповідність між експериментальними і числовими результатами пов'язана з невизначеними вхідними даними параметра моделі, а не з обмеженням програмного забезпечення (Wald, Gödrich,

Kurejková, Šabatka, Kabeláč, & Kojala, 2017). Калібрування, застосоване шляхом варіації вхідних даних, може зміщувати результат ближче до експериментального відгуку і змінювати числову модель. Через калібрування нова числова модель може продемонструвати гіршу передбачувану здатність (Lee, Kim, Youn, & Kim, 2019).

Для методів оцінювання вогнестійкості таких конструкцій, як стіни, перекриття, балки, колони з покриттями або без них визначальним показником є проміжок часу впливу стандартного температурного режиму, регламентованого в EN 1363-1:2020, до досягнення в них критичної температури або граничної деформації, за яких відбувається втрата їхньої несучої або теплоізоляційної здатності (Круковский та ін., 2021). У розрахункових методах, призначених для оцінювання вогнестійкості цих конструкцій, застосовують комп'ютерні програми, які засновано на методі кінцево-елементного моделювання (FEM) для прогнозування теплового й механічного станів конструкцій за високих температур, зокрема такі як ANSYS (Hawileh, & Naser, 2012), ABAQUS (Bailey, & Ellobody, 2009), SAFIR (Franssen, 2005), VULCAN (Huang, 2010), OPENSEES (Jiang, & Usmani, 2013). Під час валідації цих методів прогнозовані за моделлю дані щодо цього проміжку часу та щодо інших показників, які характеризують тепловий, а в деяких випадках і напружено-деформований стан конструкцій, порівнюють з експериментальними результатами, які, зазвичай, отримують за стандартизованими методами випробувань (Круковский та ін., 2021). Під час проведення цих валідаційних експериментів зразки конструкцій встановлюють в піч і здійснюють ідентифікацію їхнього теплового та (або) напружено-деформованого станів в умовах впливу стандартного температурного режиму. Як приклад, у працях (Song, Han, Zhou, & Feng, 2018; Laim, Santiago, Caetano, Craveiro, & Shahbazian, 2022) розглянуто валідацію методів розрахунку колон з покривом, під час якої здійснювали порівняння прогнозованих за моделлю кінцевих елементів (FE) даних щодо температурного поля і деформації кожної колони з вимірними в експерименті. В (Drury, Kordosky, & Quiel, 2021; Khan, Khan, Cashell, & Usmani, 2022) подано процедуру і результати валідації розрахункових методів, призначених для балок. Деталі застосованих FE моделей для стін і процедуру їхньої валідації наведено в (Abeysiriwardena, & Mahendran, 2022). В (Silva, Alam, Nadjai, Nigro, & Ali, 2021; Caldová, Vymlátal, Wald, & Kuklíková, 2014) розглянуто валідацію для перекриттів. Потрібно зазначити, що під час валідації методів, призначених для огорожувальних конструкцій (стіни, перекриттів), обчислені за FE моделлю дані щодо температурного поля порівнюють з результатами вимірювання температури, отриманими на поверхні конструкції, протилежній тепловому впливу за стандартного температурного режиму. Для несучих конструкцій без огорожувальної функції (балок, колон) розрахункові дані порівнюють з температурою, виміряною на поверхні конструкції під шаром покриву або на несучій арматурі. Під час валідації цих розрахункових методів дотримуються положень, викладених в ASTM E 1355—04:2017 та ISO 16730—1:2015 (Temelli, Gultek, Uzunoglu, & Sayin, 2023). Зокрема, це стосується підходу до процесу валідації, який застосовує установа, що її здійснює. Міжнародний стандарт ISO 16730—1:2015 встановлює два підходи — це «сліпа» та «відкрита» процедури валідації, які направлено на забезпечення достовірності (об'єктивності) результатів валідації. У «сліпій» процедурі установа, яка здійснює валідацію, має дані лише щодо початкових і граничних умов валідаційного експерименту, проте не має доступу до результатів експериментального вимірювання

вихідних даних розрахункового методу, валідацію якого проводять. У «відкритій» процедурі установа, крім інформації про початкові та граничні умови експерименту, має також результати експериментального вимірювання вихідних даних розрахункового методу перед його застосуванням. У праці (Spearpoint, & Baker, 2016) розглянуто переваги і недоліки цих двох процедур валідації.

Для методів, призначених для визначення теплових показників покривів, які застосовують на стінах, перекриттях, балках і колонах, визначальним показником є мінімальна товщина цього покриву, за якої проміжок часу впливу стандартного температурного режиму до досягнення критичної температури на конструкції не перевищує нормованого значення (Круковский та ін., 2021). За цими методами здійснюють експериментальне вимірювання температури зразків конструкцій (ідентифікацію їхнього теплового стану) в умовах впливу стандартного температурного режиму. За отриманими експериментальними даними визначають параметри моделі, застосованої в методі, які забезпечують певну збіжність числових результатів з експериментальними. Прикладом такого параметра є коефіцієнт теплопровідності покриву. За моделлю з визначеними параметрами розраховують значення мінімальної товщини покриву, які забезпечують збереженість вогнестійкості в широкому діапазоні конструктивних показників, наведених у різних частинах серії стандартів EN 13381, зокрема, в EN 13381-4:2013 і EN 13381-8:2013. У цих методах застосовують моделі, які містять одномірне скінченно-різницеve рівняння теплопровідності або рівняння числової регресії. Під час валідації зазначених методів прогнозовані за моделлю дані щодо проміжку часу до досягнення в конструкціях критичної температури порівнюють з експериментальними результатами (Inerhunwa, Chang, & Su, 2019). Однак такий підхід забезпечує певну збіжність отримуваних числових результатів визначення проміжку часу з експериментальними, але не дає змоги визначити ступінь відповідності розрахункових даних щодо теплових показників їх дійсним значенням. Процедуру, призначену для визначення цього ступеня, запропоновано в праці (Новак, & Новак, 2021). Але її суттєвим недоліком є те, що вона заснована на валідації моделі за даними проведення обчислювального, а не натурального експерименту, що призводить до неприйнятності її застосування для всього методу в цілому. Цю процедуру можна використовувати тільки для валідації моделі, застосованої в досліджуваному методі.

Підсумовуючи, варто зазначити, що існуюча процедура валідації методів, призначених для визначення проміжку часу до досягнення критичної температури або граничної деформації конструкцій з покривами, надає можливість достатньо точно оцінювати ступінь відповідності отримуваних результатів дійсним значенням, а для методів, призначених для визначення теплових показників покривів, є потреба в розробці процедури валідації, яка придатна для визначення достовірних даних щодо ступеня відповідності отримуваних за цими методами результатів дійсним значенням теплових показників. Перспективним в цій розробці є здійснення автоматизації процесу валідації шляхом автоматизації натурального експерименту щодо ідентифікації теплового стану зразків конструкцій з покривом в умовах впливу стандартного температурного режиму, застосування сучасних інформаційних технологій, розроблення математичного, алгоритмічного та програмного забезпечення, використання чисельного метода, який було раніше валі-

довано, для порівняння з результатами, отримуваними за досліджуванним методом, а також запровадження процесу калібрування моделі для підвищення ступеня відповідності отримуваних за цим методом даних щодо теплових показників покриву їх дійсним значенням. Запровадження автоматизації процесу валідації сприятиме підвищенню достовірності отримуваних результатів валідації, що є важливим, зокрема, під час розроблення стандартизованих методів, і може бути альтернативою підходам щодо «сліпої» та «відкритої» валідації, поданим в ISO 16730—1:2015.

Мета дослідження: розробка автоматизованої процедури валідації, яка забезпечує автоматизацію процесів ідентифікації теплового стану експериментальних зразків конструкцій, встановлених у печах, в умовах впливу стандартного температурного режиму, визначення відхилю розрахункових від дійсних значень теплових показників покриву на конструкціях будівель харчової промисловості, мінімізації цього відхилю для підвищення ступеня відповідності отримуваних за досліджуванним методом даних щодо теплових показників покриву їх дійсним значенням.

Матеріали і методи. Застосовано метод дослідження, складовими якого є аналізування, порівняння, узагальнення. Основні матеріали для дослідження — наукові публікації зарубіжних і вітчизняних учених у провідних періодичних і спеціалізованих світових виданнях, що стосуються валідації експериментальних і розрахункових методів оцінювання визначальних показників у фізичних системах, а також валідації математичних моделей і алгебраїчних рівнянь.

Викладення основних результатів дослідження. З огляду на положення, подані в європейських стандартах серії EN 13381 і в міжнародному стандарті ISO 16730—1:2015, а також результати розгляду джерел інформації запропоновано автоматизовану типову процедуру валідації методів визначення теплових показників покривів на конструкціях будівель харчової промисловості, яка складається з таких етапів:

- ідентифікація теплового стану експериментальних зразків конструкцій з покривом в умовах впливу стандартного температурного режиму;
- ідентифікація за отриманими даними щодо теплового стану експериментальних зразків дійсних значень теплових показників покриву шляхом застосування чисельного метода, який було раніше валідовано;
- з використанням отриманих даних щодо теплового стану експериментальних зразків, за методом, наведеним у відповідній частині EN 13381, визначення розрахункових значень теплових показників покриву;
- визначення діапазону і середньо квадратичного відхилю розрахункових значень теплових показників покриву від їх дійсних величин;
- мінімізація середньо квадратичного відхилю розрахункових значень теплових показників покриву від їх дійсних величин шляхом коригування певного параметра моделі (її калібрування), застосованої у відповідній частині EN 13381, і визначення діапазону відхилю коригованих розрахункових значень теплових показників покриву від їх дійсних величин.

Наведена вище автоматизована типова процедура заснована на проведенні натурного експерименту з автоматизованим керуванням процесів нагрівання у печі та ідентифікації теплового стану експериментальних зразків конструкцій, а також

застосуванні комп'ютерно-інформаційних технологій. Вона призначена для автоматизованого визначення діапазону відхилу теплових показників, отриманих за досліджуваним методом, від їхніх дійсних значень, а також для здійснювання коригування в цьому методі, яке мінімізує середньо квадратичний відхил і таким чином наближає отримувани за методом результати до дійсних теплових показників. Запровадження в цій процедурі автоматизації процесу валідації як альтернативи «сліпої» та «відкритої» валідації (ISO 16730-1:2015) сприятиме підвищенню достовірності (об'єктивності) отримуваних результатів валідації.

На рис. 1 як приклад застосування запропонованої типової процедури подано схематичне зображення процедури валідації методу визначення теплових показників покривів на сталевих конструкціях, який наведено в EN 13381-4:2013 і засновано на положенні, що коефіцієнт теплопровідності покриву є незалежним від температури. Для цього методу тепловими показниками є набір даних щодо мінімальної товщини покриву d_p , за якої протягом певного нормованого проміжку часу $t_{fr,requ}$ впливу стандартного температурного режиму температура металевої поверхні сталеві конструкції θ_a , яка має коефіцієнт поперечного перерізу A_m/V , не перевищує критичну температуру θ_{cr} . Дані щодо товщини d_p визначають для певних діапазонів параметрів сталевих конструкцій (A_m/V , θ_{cr} , $t_{fr,requ}$), поданих в EN 13381-4:2013, і їхня кількість може досягати кількох сотень. Для сталевих конструкцій (балок, колон), призначених для будівель харчової промисловості, відповідно до державних будівельних норм ДБН В.2.2-42:2021 «Будівлі та споруди. Споруди холодильників. Основи проектування», ДБН В.2.2-43:2021 «Будівлі та споруди. Складські будівлі. Основні положення» і ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» значення нормованого проміжку часу $t_{fr,requ}$ складають 15 хв, 30 хв, 60 хв, 120 хв, 150 хв. Згідно з EN 13381-4:2013 критична температура θ_{cr} знаходиться в діапазоні від 350 °C до 700 °C, а коефіцієнт поперечного перерізу A_m/V – від 40 м⁻¹ до 300 м⁻¹.

На першому етапі валідації створюють експериментальні зразки конструкцій з нанесеним покривом (сталеві колони або балки в кількості від 4 до 12 одиниць, завдовжки 1,0 м) і здійснюють ідентифікацію їхнього теплового стану в різні проміжки часу впливу стандартного температурного режиму, який відповідає такій залежності:

$$\theta_s = 345 \lg(8t + 1) + 20, \quad (1)$$

де θ_s — номінальна (стандартна) температура в печі, °C;

t — проміжок часу, що відраховують від початку впливу стандартного температурного режиму (початку нагрівання), хв.

Залежно від сфери валідації як експериментальні зразки використовують суцільні конструкції двотаврового профілю або порожнисті конструкції прямокутного чи круглого профілю, які мають різні нормовані значення коефіцієнта поперечного перерізу A_m/V . Товщина покриву цих зразків є різною. Для деяких зразків вона дорівнює мінімальній товщині $d_{p,min}$, для інших — максимальній $d_{p,max}$ або середній товщині $d_{p,mean}$. Інформацію про параметри зразків подано в EN 13381-4:2013.

Зразки встановлюють у теплову піч, яка працює на рідкому пальному та має мінімальні внутрішні розміри 2,2 м × 2,4 м × 2,0 м, і піддають впливу стандартного температурного режиму (температура в печі монотонно підвищується від кімнатної до 1153 °C (для тривалості нагрівання 240 хв).

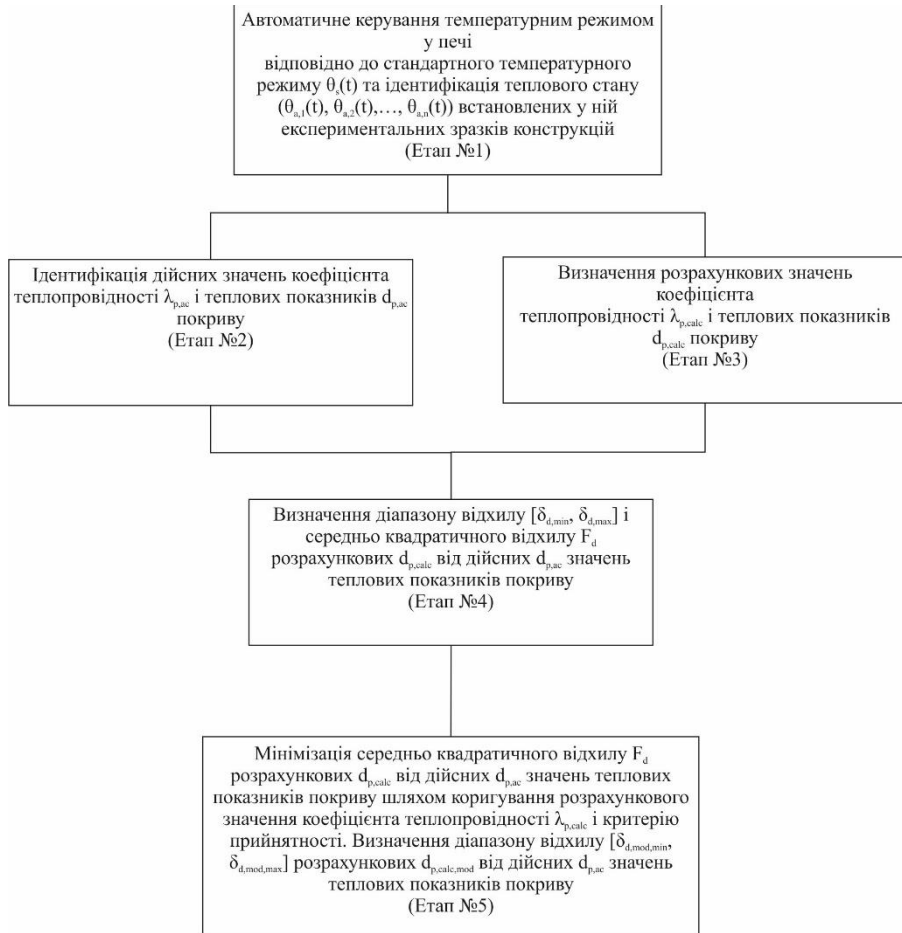


Рис. 1. Схематичне зображення процедури валідації методу визначення теплових показників покриттів на сталевих конструкціях, поданого в EN 13381—4:2013

Регулювання температури в печі має здійснюватися таким чином, щоб площа під фактичною кривою температури в печі $\theta_{furn}(t)$, яку визначають за показами спеціальних пластинчастих термометрів (термопар), була максимально наближеною до площі під кривою номінального (стандартного) температурного режиму $\theta_s(t)$ і відхил між цими площами не перевищував таких допустимих значень (EN 1363-1:2020):

- а) $\pm 15\%$ для $5 < t \leq 10$;
- б) $\pm 15 - 0,5(t - 10)\%$ для $10 < t \leq 30$;
- в) $\pm 5 - 0,083(t - 30)\%$ для $30 < t \leq 60$;
- г) $\pm 2,5\%$ для $t > 60$.

Для забезпечення в печі зазначеного температурного режиму застосовують автоматизовану систему керування, що придатна здійснювати оптимальне регулювання витрат рідкого пального і повітря в пальниках печі через змінення тиску

в їхніх магістралях для максимального наближення фактичного температурного режиму в печі до номінального.

Для ідентифікації теплового стану на металеву поверхню експериментальних зразків встановлюють термопари. Під час експерименту з використанням аналого-цифрових перетворювачів вимірюють температуру зразків ($\theta_{a,1}(t)$, $\theta_{a,2}(t)$, ..., $\theta_{a,n}(t)$), де n — кількість зразків) і здійснюють передавання отриманих температурних даних до комп'ютера.

До початку експерименту перевіряють відповідність температури зразків і в печі наведеним в EN 13381—4:2013 вимогам. Експеримент завершують (шляхом вимкнення пальників у печі) після досягнення на всіх експериментальних зразках максимального значення критичної температури θ_{cr} , яке задають.

На другому етапі валідації за отриманими експериментальними даними щодо температури зразків $\theta_{a,1}(t)$, $\theta_{a,2}(t)$, ..., $\theta_{a,n}(t)$ здійснюють ідентифікацію дійсних значень коефіцієнта теплопровідності покриву $\lambda_{p,ac}$ і теплових показників покриву $d_{p,ac}$ шляхом розв'язання оберненої задачі теплопровідності й задачі оптимізації. Для розв'язання цих задач використовують математичну модель, яка складається з одновірних диференціальних рівнянь нестационарної теплопровідності в покриві (2) і сталевій конструкції (3):

$$c_p \rho_p \frac{\partial \theta_p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_p \frac{\partial \theta_p}{\partial x} \right); \quad (2)$$

$$c_a \rho_a \frac{\partial \theta_a}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_a \frac{\partial \theta_a}{\partial x} \right), \quad (3)$$

де x — координата, м;

t — проміжок часу, що відраховують від початку нагрівання, с;

θ_p , θ_a — температура в покриві і сталевій конструкції, °С;

c_p , c_a — питома теплоємність покриву і сталі, Дж/(кг×°С);

ρ_p , ρ_a — густина покриву і сталі, кг/м³;

λ_p , λ_a — коефіцієнт теплопровідності покриву і сталі, Вт/(м×°С).

У цій математичній моделі на зовнішній поверхні покриву задають граничні умови складного радіаційно-конвекційного теплообміну і умови однозначності, які наведено в (Круковский та ін., 2021).

За результатом розв'язання оберненої задачі теплопровідності визначають значення коефіцієнта теплопровідності λ_p у вузлових точках його кусково-лінійної залежності від температури, за яких відхил температури зразків, розрахованої для різних проміжків часу вогневого впливу за математичною моделлю, від експериментальної температури є мінімальним.

Для задачі оптимізації визначають товщину покриву $d_{p,ac}$, за якої протягом певного нормованого проміжку часу $t_{fr,requ}$ впливу стандартного температурного режиму температура металеві поверхні сталеві конструкції θ_a , яка має коефіцієнт поперечного перерізу A_m/V , дорівнює критичній температурі θ_{cr} .

Ідентифікацію коефіцієнта теплопровідності $\lambda_{p,ac}$ і теплових показників покриву $d_{p,ac}$ виконують із застосуванням валідованої прикладної комп'ютерної програми FRIEND—2 (Круковский, та ін., 2021), призначеної для розв'язання прямих і обернених задач теплопровідності. Товщину покриву $d_{p,ac}$ визначають для різних нормованих параметрів конструкції (коефіцієнта поперечного перерізу A_m/V і кри-

тичної температури θ_{cr}), поданих в EN 13381-4:2013, і значень нормованого проміжку часу $t_{fr,requ}$, які для конструкцій будівель харчової промисловості складають 15 хв, 30 хв, 60 хв, 120 хв, 150 хв. У подальших розрахунках використовують тільки ті значення товщини $d_{p,ac}$, які знаходяться в інтервалі товщини покритву на експериментальних зразках: від $d_{p,min}$ до $d_{p,max}$.

На наступному етапі валідації за отриманими експериментальними даними щодо температури зразків $\theta_{a,1}(t), \theta_{a,2}(t), \dots, \theta_{a,n}(t)$, використовуючи процедури, які наведені в методі Е.4 EN 13381—4:2013, визначають розрахункові значення коефіцієнта теплопровідності покритву $\lambda_{p,calc}$ і теплових показників покритву $d_{p,calc}$. При цьому використовують одномірне скінченно-різницеve рівняння теплопровідності, а для коефіцієнта теплопровідності $\lambda_{p,calc}$ застосовують таку залежність:

$$\lambda_{p,calc} = c_0 + c_1 \times A_m / V + c_2 \times d_p, \quad (4)$$

де: $\lambda_{p,calc}$ — коефіцієнт теплопровідності покритву, Вт/(м×°С);

A_m/V — коефіцієнт поперечного перерізу, м⁻¹;

d_p — товщина покритву, м;

C_0, C_1, C_2 — коефіцієнти.

За результатами цих розрахунків визначають значення коефіцієнтів C_0, C_1, C_2 , які задовольняють таким критеріям прийнятності:

- для кожного зразка жодне розраховане за рівнянням теплопровідності значення проміжку часу t_{calc} до досягнення критичної температури не перевищує відповідного експериментального значення t_{exp} більше ніж на $P_1 = 15\%$;

- для кожного зразка середнє значення усіх відсоткових відмінностей t_{calc} від t_{exp} менше $P_2 = 0$;

- більшим за нуль є менше ніж $P_3 = 30\%$ окремих значень усіх відсоткових відмінностей t_{calc} від t_{exp} .

Значення товщини покритву $d_{p,calc}$ визначають для тих же нормованих параметрів конструкції (коефіцієнта поперечного перерізу A_m/V , критичної температури θ_{cr} і проміжку часу $t_{fr,requ}$), які було застосовано на другому етапі під час розрахунків товщини $d_{p,ac}$.

На четвертому етапі визначають діапазон відхилу $[\delta_{d,min}, \delta_{d,max}]$ розрахункових значень теплових показників вогнезахисного покритву $d_{p,calc}$ від їхніх дійсних величин $d_{p,ac}$, а також середньо квадратичний відхил F_d . Значення цих відхилів розраховують за формулами (5) і (6):

$$\delta_d = 100(d_{p,calc} - d_{p,ac}) / d_{p,ac}; \quad (5)$$

$$F_d = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\delta_{di})^2}, \quad (6)$$

де n — кількість визначених значень $d_{p,calc}$.

У табл. 1 подано приклад подання результатів визначення відхилу δ_d для певного нормованого проміжку часу збереженості вогнестійкості конструкції.

На наступному етапі валідації здійснюють мінімізацію середньо квадратичного відхилу F_d шляхом коригування розрахункового значення коефіцієнта теплопровідності $\lambda_{p,calc}$ (коефіцієнта C_0 в формулі (4)) і критерію прийнятності. Визначають таке кориговане значення коефіцієнта C_0 , за якого відхил F_d має найменшу

величину. За значеннями проміжку часу t_{calc} , отриманими із застосуванням коригованого коефіцієнта C_0 , визначають кориговані параметри P_1, P_2, P_3 в критеріях прийнятності, кориговані значення теплових показників $d_{p,calc,mod}$ і діапазон їх відхилення від дійсних величин $[\delta_{d,mod,min}, \delta_{d,mod,max}]$.

Таблиця 1. Приклад подання результатів визначення відхилення δ_d

Нормований проміжок часу $t_{fr,requ} = 120$ хв									
Критична температура θ_{cr} , °C	350	400	450	500	550	600	650	700	750
Коефіцієнт поперечного перерізу A_n/V , M^{-1}	Значення відхилення δ_d , %								
40									
50									
60									
...									
280									
290									
300									
Діапазон відхилення $[\delta_{d,min}, \delta_{d,max}]$ для $t_{fr,requ} = 120$ хв									

Для практичної реалізації зазначеної вище процедури валідації в напрямку розроблення автоматизованої системи керування температурним режимом в печі необхідно розв'язати низку таких завдань:

а) визначити залежність площі $A_n(t)$ під кривою номінального температурного режиму в печі від тривалості нагрівання для проміжку часу t до 5 хв, яку необхідно застосовувати як номінальну під час керування температурним режимом в печі. Використовувати для цього часового інтервалу як нормовану площу $A_n(t)$ площу $A_s(t)$ під кривою стандартного температурного режиму не можна через значну теплову інерційність пластинчастих термометрів (Новак, Добростан, & Абрамов, 2022). Визначення цієї номінальної залежності $A_n(t)$ можна здійснити за результатами чисельного дослідження, заснованого на математичному моделюванні теплового стану для зазначеного проміжку часу засобів вимірювання температури в печі, які мають різні параметри (для пластинчастих термометрів цим параметром є товщина захисного сталевого шару до вимірювального спаю термопар);

б) виявити вплив щільності теплового потоку на поверхні пластинчастих термометрів від пальників у печі на покази вимірювального спаю застосовної в них термопарі в різні проміжки часу нагрівання і визначити проєктні параметри автоматизованої системи керування температурним режимом у печі (залежності витрат рідкого пального і повітря від проміжку часу нагрівання, за яких забезпечується номінальний температурний режим у печі). Виявлення цього впливу і визначення зазначених проєктних параметрів можна здійснити за результатами чисельного моделювання теплових процесів в печі й пластинчастих термометрах;

в) розробити інтелектуальну автоматизовану систему керування температурним режимом в печі, що придатна здійснювати оптимальне регулювання витрат

рідкого пального і повітря в пальниках печі через змінювання тиску в їхніх магістралях для максимального наближення температурного режиму в печі до номінального. В цій автоматизованій системі може бути запроваджено принцип, який полягає у визначенні із застосуванням пластинчастих термометрів і аналого-цифрових перетворювачів фактичної температури в печі $\theta_{furn}(t)$, розрахунку площі $A_{furn}(t)$ під кривою цієї температури, порівнянні цієї площі з площею під кривою номінального температурного режиму, подаванні керуючого впливу, рівень якого пропорційний різниці між зазначеними площами, на виконуючі механізми регулювання витрат рідкого пального і повітря у пальниках печі через змінення тиску в їх магістралях. Розроблення цієї системи вимагає технічного рішення щодо зазначених виконуючих механізмів регулювання (до їхнього складу можуть входити двигуни із заслінками, які змінюють тиск у магістралях пального і повітря).

Крім зазначеного вище, необхідно створити алгоритмічне і програмне забезпечення для автоматизації процесу керування температурним режимом у печі та процесу валідації досліджуваного методу визначення теплових показників покриттів.

Висновки

Запропоновано автоматизовану процедуру валідації методів оцінювання теплових показників вогнезахисних покриттів на конструкціях будівель харчової промисловості, яку засновано на проведенні натурного експерименту з автоматизованим керуванням температурним режимом у печі та ідентифікацією теплового стану експериментальних зразків конструкцій, а також застосуванні комп'ютерно-інформаційних технологій. Особливістю цієї процедури є те, що вона дає змогу не тільки визначати діапазон відхилу теплових показників, розрахованих із застосуванням математичної моделі теплопровідності, наведеної в досліджуваному методі, від їхніх дійсних значень, а й здійснювати коригування в цьому методі, які мінімізують цей відхил і таким чином наближають отримувані результати до дійсних теплових показників. Ідентифікацію дійсних значень коефіцієнта теплопровідності покриття і теплових показників покриття в цій процедурі здійснюють шляхом розв'язання оберненої задачі теплопровідності й задачі оптимізації з використанням валідованої математичної моделі з граничними умовами складного радіаційно-конвекційного теплообміну.

Окреслено завдання, які необхідно розв'язати для практичної реалізації запропонованої автоматизованої процедури валідації, що пов'язані з розробленням інтелектуальної автоматизованої системи керування температурним режимом у тепловій печі й створенням алгоритмічного і програмного забезпечення автоматизованого процесу валідації методів визначення теплових показників покриттів на конструкціях будівель харчової промисловості.

Визначено напрями подальших досліджень, які орієнтовані на виявлення залежностей щільності теплового потоку на поверхні пластинчастих термометрів і витрат рідкого пального та повітря від проміжку часу вогневого впливу, за яких фактичний температурний режим у печі є максимально наближеним до номінального.

Література

ASTM E 1355—04:2017 Standard guide for evaluating the predictive capability of deterministic fire models, American society for testing and materials, USA. doi: 10.1520/E1355-04.

Круковский, П. Г., Новак, С. В., Поклонский, В. Г., Еременко, С. А., Фролов, Г. А. (2021). *Оценка огнестойкости металлических строительных конструкций и огнезащитной способности покрытий (расчетно-экспериментальный подход)*. Киев: Франко Пак.

Новак, С., Новак, М. (2021). Валідація методів розрахунку мінімальної товщини вогнезахисних матеріалів для сталевих конструкцій. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*, 2(10), 83—90. <https://doi.org/10.33269/nvcs.2020.2.83-90>.

Новак, С. (2015). Зависимость предела огнестойкости строительных бетонных конструкций от влажности бетона. *ВіТР*, 39(3), 129—136. doi:10.12845/вітр.39.3.2015.11.

Новак, С., Добростан, О., Абрамов, О. (2022). Вплив параметрів засобів вимірювання температури в печі на результати випробувань будівельних конструкцій і виробів на вогнестійкість. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*, 1(13), 4—14. [https://doi.org/10.33269/nvcs.2022.1\(13\).4-14](https://doi.org/10.33269/nvcs.2022.1(13).4-14).

Новіков, В. (2007). Валідація методик. *Стандартизація, сертифікація, якість*, 6, 32—35.

Abeyesiriwardena, T., Mahendran, M. (2022). Numerical modelling and fire testing of gypsum plasterboard sheathed cold-formed steel walls. *Thin-Walled Structures*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2022.109792>.

Archambeault, B., & Connor, S. (2008). Proper model validation is important for all EMI/EMC applications. *Proc. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility EMC 2008* (pp. 1—8). doi: 10.1109/IEMC.2008.4652152.

Bailey, C., & Ellobody, E. (2009). Whole-building behaviour of bonded post-tensioned concrete floor plates exposed to fire. *Engineering Structures*, 31(8), 1800—1810. doi:10.1016/j.engstruct.2009.02.033.

Caldová, E., Vymáčil, P., Wald, F., Kuklíková, A. (2014). Timber steel fiber-reinforced concrete floor slabs in fire: Experimental and numerical modeling. *Journal of Structural Engineering*, 141(9). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001182](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001182).

Drury, M. M., Kordosky, A. N., Quiel, S. E. (2021). Robustness of a partially restrained, partially composite steel floor beam to natural fire exposure: Novel validation and parametric analysis. *Journal of Building Engineering*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102533>.

Franssen, J. M. (2005). SAFIR: A thermal/structural program for modeling structures under fire. *Engineering Journal*, 42(3), 143—158. <https://hdl.handle.net/2268/2928>.

Godoy, L., & Dardati, P. (2001). Validación de modelos en mecánica computacional. *Mecánica Computacional*, 20, 663—670.

Hawileh, R., Naser, M. (2012). Thermal-stress analysis of rc beams reinforced with GFRP bars. *Composites Part B: Engineering*, 43, 2135—2142. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.03.004>.

Huang, Z. (2010). The behaviour of reinforced concrete slabs in fire. *Fire Safety Journal*, 45(5), 271—282. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2010.05.001>.

Inerhunwa, I., Chang Wang, Y., & Su, M. (2019). Reliability analysis of intumescent coating protected steel members under the standard fire condition. *Fire Safety Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.12.0032>.

Jiang, J., Usmani, A. (2013). Modeling of steel frame structures in fire using openses. *Computers and Structures*, 118, 90—99. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2012.07.013>.

Khan, M. A., Khan, A. A., Cashell, K. A., Usmani, A. (2022). Response of restrained stainless steel corrugated web beams at elevated temperature. *Structures*, 41, 668—683. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.05.043>.

Láim, L., Santiago, A., Caetano, H., Craveiro, H.D., Shahbazian, A. (2022). Numerical analysis and structural fire design of protected SHS steel columns with thermally enhanced gypsum-based mortars. *Journal of Building Engineering*, 54. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104629>.

Lee, G., Kim, W., Oh, H., Youn, B. D., Kim N. H. (2019). Review of statistical model calibration and validation-from the perspective of uncertainty structures. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 60, 1619—1644. doi:10.1007/s00158-019-02270-2.

Magnusson, B., Örmemark, Eurachem U. (2014). *Guide: The Fitness for Purpose of Analytical Methods — A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics*, (2nd ed. 2014). ISBN 978-91-87461-59-0. Available from www.eurachem.org.

Oberkampff, W. L., Trucano, T. G. (2008). Verification and validation benchmarks. *Nuclear Engineering and Design*, 238(3), 716—743. doi:10.1016/j.nucengdes.2007.02.032.

Paquette-Rufiange, A., Prudhomme, S., Laforest, M. (2023). Optimal design of validation experiments for the prediction of quantities of interest. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 414. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2023.116182>.

Silva, D., Alam, N., Nadjai, A., Nigro, E., Ali, F. (2021). Finite element modelling for structural performance of slim floors in fire and influence of protection materials. *Applied Sciences*, 11(23). <https://doi.org/10.3390/app112311291>.

Song, Q. Y., Han, L. H., Zhou, K., Feng, Y. (2018). Fire resistance of circular concrete-filled steel tubular (CFST) column protected by intumescent coating. *Journal of Constructional Steel Research*, 147, 154—170. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.03.038>.

Spearpoint, M., Baker, G. B. (2016). Ranking the level of openness in blind compartment fire modelling studies. *Fire Technology* 52(1), 25—50. doi:10.1007/s10694-014-0431-4.

Temelli, U. E., Gultek, A. S., Uzunoglu, C. P., Sayin, B. (2023). A multidisciplinary analysis of the fire propagation in the aspiration system of a building. *Case Studies in Construction Materials*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02375>.

Wald, F., Gödrich, L., Kurejková, M., Šabatka, L., Kabeláč, J., Kojala, D. (2017). Validation and verification in design of structural steel connections. *Special Issue: Proceedings of Eurosteel 2017*, 1(2—3), 143—152. doi:10.1002/cepa.45.

BIOTECHNOLOGICAL METHODS OF OBTAINING SURGICAL ISOLATING MATERIALS

O. Vorontsov, E. Seredenko

National University of Food Technologies

Key words:

Bioadhesive
Surgical glue
Dextrin
Chitosan
Alginate
Gamma-polyglutamic acid
Superpolypeptide

Article history:

Received 03.05.2024
Received in revised form
17.05.2024
Accepted 31.07.2024

Corresponding author:

O. Vorontsov
E-mail:
ewtcorp@ukr.net

Citation: Воронцов О. О., Середенко Є. І. (2024). Біотехнологічні методи одержання хірургічних ізолюючих матеріалів. *Наукові праці НУХТ*, 30(3), 22—37.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-4

ABSTRACT

In recent years, there has been a rapid increase in the number of surgical procedures performed worldwide. Modern methods of surgical wound closure, such as the use of sutures, staples, or clips, while being the standard of care, have their drawbacks, such as potential tissue damage, infection, and unfavorable cosmetic outcomes. In complex surgical procedures, such as vascular anastomoses or eye surgery, the use of sutures becomes problematic due to the high risk of damage. In many cases, metallic fixation devices are used in orthopedic surgery to support osseointegration, but this can also lead to bone atrophy due to mismatches with fixation. Although metallic implants serve as a supportive platform, they often cause pain and may result in poor bone growth. Despite these drawbacks, they remain the standard for tissue reconstruction due to the lack of alternative techniques. Reducing the risk of bleeding and infection is extremely important in surgery. Existing methods can cause side effects such as hemostasis disturbances and increased mortality. Therefore, the development of new materials that provide more effective and safer surgery becomes a relevant task. Biotechnological approaches have significant potential in creating new materials for surgical adhesives. Hydrogels based on gelatin and poly γ -glutamic acid have shown excellent ability to stop bleeding and have high adhesive strength to tissues. On the other hand, the genetically engineered super polypeptide adhesive coacervate has also emerged as a promising alternative to classical adhesives, providing effective adhesion and stopping bleeding without toxic effects on cells. These discoveries point to the possibility of further improvement of surgical treatment methods and the development of new tools to protect tissues and ensure their rapid and effective healing. Additional research and development of biotechnology can contribute to the creation of new adhesives that will even better meet the requirements of modern surgical practice, ensuring safety, efficiency and rapid recovery of tissues after surgery.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-4

БІОТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ОДЕРЖАННЯ ХІРУРГІЧНИХ ІЗОЛЮЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ

О. О. Воронцов, Є. І. Середенко

Національний університет харчових технологій

За останні роки по всьому світу спостерігається стрімкий ріст чисельності проведених хірургічних операцій. Сучасні методи хірургічного закриття ран, такі як використання шовних матеріалів, скоб або кліпс, хоча і є стандартом лікування, проте мають свої недоліки. Це можливе додаткове ушкодження тканин, ризик внутрішньо лікарняного інфікування, а також неприємні косметичні наслідки. У складних хірургічних процедурах, таких як судинні анастомози або хірургія очей, використання швів стає проблематичним через великий ризик ушкодження. У багатьох випадках для підтримки остеоінтеграції в ортопедичній хірургії використовують металеві кріпильні елементи, але це також може призвести до атрофії кістки через невідповідність з кріпленням. Хоча металеві імплантати слугують як опорна платформа, вони можуть призвести до неякісного зростання кістки та часто спричиняють біль. Зменшення ризику інфікування та кровотеч є надзвичайно важливим у хірургії. Наразі існуючі хірургічні протоколи не повністю виключають можливість виникнення побічних ефектів, таких як порушення гемостазу та навіть підвищення смертності, тому розробка нових матеріалів, які забезпечують більш ефективну та безпечну хірургію і знижують ризики післяопераційного періоду, є актуальним завданням.

Значний потенціал у створенні нових матеріалів для хірургічних клеїв мають біотехнологічні підходи. Гідрогелі на основі желатину та полі (γ -глутамінової) кислоти виявили відмінну здатність зупиняти кровотечі та мають високу адгезивну міцність до тканин. З іншого боку, генно-інженерний супер поліпептидний адгезивний коацерват також проявився як перспективна альтернатива для класичних клеїв, забезпечуючи ефективну адгезію та зупинку кровотечі без токсичних ефектів для клітин. Ці відкриття вказують на можливість подальшого вдосконалення методів хірургічного лікування та розвитку нових інструментів для захисту тканин і забезпечення їхнього швидкого й ефективного загоєння. Додаткові дослідження та розвиток біотехнологій можуть сприяти створенню нових клеїв, які будуть ще краще відповідати вимогам сучасної хірургічної практики, забезпечуючи безпеку, ефективність і швидке відновлення тканин після операційного втручання.

Ключові слова: біоадгезив, хірургічний клей, декстрин, хітозан, альгінат, гамма-поліглутамінова кислота, суперполіпептид.

Постановка проблеми. Останні роки спостерігається тенденція збільшення кількості хірургічних втручань і обсяг протоколів операцій зростає щороку. Так, у 2012 р. було проведено понад 300 мільйонів операцій, а в 2020 р. їх кількість збільшилася на 33,6%. Сучасні методи закриття місця хірургічного втручання включають використання інвазійних технік, таких як накладання швів, скоб або кліпс, що

приводить до вторинного ушкодження тканин, можливості зараження мікроорганізмами, витоку повітря або рідини, а також має небажаний косметичний результат (Bhagat, & Becker, 2017).

Незважаючи на те, що використання швів є стандартом лікування, у випадках складних і чутливих процедур, таких як судинні анастомози, відновлення нервів або хірургія очей, воно ускладнене через великий ризик ушкодження. Зазвичай, у хірургії застосовують біосумісні матеріали не лише на рівні шовного матеріалу, а й як імпланти. Проте невідповідність між хрящовою тканиною та кістковою тканиною може призвести до локального стресу на ділянці відновлення та атрофії (Bhagat, & Becker, 2017).

На сьогодні часто використовуються металеві імпланти. Вони виступають як опорна платформа, що не взаємодіє хімічно з кісткою, але часто спричиняють біль під час асептичного ослаблення, що може призвести до неякісного зростання кістки. Пошук і виробництво альтернативних матеріалів, наприклад, синтезованих мікроорганізмами, можуть вирішити ці проблеми (Bhagat, & Becker, 2017).

Однією з основних причин смерті в хірургії є кровотеча, яка виникає внаслідок травми та становить половину всіх летальних випадків у воєнних ситуаціях. Зменшення ризику інфікування в польових умовах стає надзвичайно важливим. Будь-які пошкодження шкіри, включаючи ті, що виникають під час хірургічних втручань, потребують негайного захисту та лікування для уникнення інфікування.

Протягом останнього десятиліття зросло зацікавлення в ефективному контролі гемостазу та герметизації тканин, що тісно пов'язано з пошуком нових матеріалів. Звичайний метод зашивання більшості незаражених ран полягає у використанні шовних матеріалів з високою міцністю до розривів. Проте традиційні шовні матеріали, такі як нитки, скоби або дроти, не є ідеальними для виконання мінімально інвазивних операцій. Хоча такий підхід може бути придатним для загальної хірургії, він може призводити до негативних наслідків, таких як ушкодження тканин і ризик інфікування. Крім того, може виявитися неможливим забезпечити достатньо швидке з'єднання тканин, щоб запобігти витоку рідини та повітря, а рідини організму та повітря можуть потрапити в крихкі тканини, такі як кровоносні судини та органи, які мають тенденцію до легкості пошкодження — печінка, селезінка, нирки тощо (Bhagat, & Becker, 2017).

Ці побічні ефекти підкреслюють, що існуючі шовні матеріали не завжди відповідають вимогам для складної хірургії та можуть викликати серйозні проблеми, такі як довгий час зашивання, порушення гемостазу та побічні реакції тканин, що навіть може підвищити смертність. Тож пошук і створення матеріалів, які забезпечують спрощену та більш ефективну хірургію з мінімально інвазивним підходом, стає надзвичайно важливою. Саме біотехнологічні методи одержання полімерних матеріалів для герметизації ран забезпечать можливість вирішити проблему біосумісності та запобігти можливому інфікуванню (Zheng, & Guc, 2022).

Мета статті: аналіз наукових джерел, що стосуються медичних адгезивів, а також біосинтезу їх компонентів.

Матеріали і методи. Для написання огляду були використані зарубіжні та вітчизняні наукові публікації у провідних періодичних і спеціалізованих світових виданнях, що стосуються оптимізації біотехнологічних методів одержання, напри-

лад, гамма-поліглутамінової кислоти, з переважним акцентом на мікробіологічний синтез. Пошук наукових статей проводився за допомогою світових наукометричних баз даних, таких як Google Scholar та PubMed.

Викладення основних результатів дослідження. Одержання хірургічних ізолюючих матеріалів мікробним синтезом. Завдяки складній метаболічній системі молочнокислих бактерій синтез полісахаридів контролюється різними генами і білками. Глюкозилтрансферази, виділені з бактерій *Leuconostoc*, *Lactobacillus* і *Streptococcus*, переносять D-глюкопіранозильні одиниці та сахарозу як донорні молекули за відповідних умов. Ці мікроорганізми можуть бути використані для ефективного виробництва декстрану з високою молекулярною масою. Удосконалення технології біосинтезу декстрану може не тільки збільшити його вихід, а й забезпечити можливість вивчити взаємозв'язок між структурою декстрану та функціями (Du та ін., 2023). Культивування *Leuconostoc pseudomesenteroides* DSM20193 і *Weissella confusa* A16 на поживному середовищі, що містить сахарозу та відходи зернових продуктів, призводить до збільшення біосинтезу декстрану (Koirala та ін., 2021).

Декстран є гомополісахаридом, який має різноманітне використання у промисловості. Лактобацили виробляють декстран за участі позаклітинного ферменту декстрансахарази, який сприяє утворенню декстрану шляхом розкладання глікозидного зв'язку молекули сахарози. При цьому вивільняються цукор і фруктоза. Кінцевий декстран — це полісахарид з принаймні 50% α -1,6-зв'язаної глюкози як скелета, а також з різним відсотком зв'язків α -1,4, α -1,3 та α -1,2. Склад декстрану переважно залежить від типу декстрансахарази, яка присутня в штамах бактерій, і від умов росту, таких як кількість сахарози, рівень кислотності і температура (Koirala та ін., 2021).

Протеїнові моделі, такі як 5-фторурацил і бичачий сироватковий альбумін, використовувались як транспортні системи для оцінки гемостатичних властивостей клейового матеріалу в моделі ушкодження паренхіми печінки кролика. Дослідження показали, що адгезія клею на основі хітозану була схожою на адгезію комерційного клею. Вона пододала вимоги до токсичності клею, що використовується для доставки ліків, і проявила значний потенціал як новий клей. Створено новий біорозкладний клей для тканин на основі диметакрилату поліетиленгліколю та меркаптохітозану. У фізіологічних умовах поліетиленгліколь, диметакрилат і меркаптохітозан були з'єднані реакцією Міхаеля за допомогою УФ-випромінювання. Результати показали, що цей гідрогель має високі механічні властивості, біосумісність і низьку цитотоксичність. Завдяки активній групі меркаптанів меркаптохітозану міцність адгезії поліетиленгліколю диметакрилату була вищою, ніж у целюлозної смоли. Ці відкриття вказують на новий підхід до створення гідрогелів. Розроблено гелеву систему, яка включає етиленгліколь хітозану. У присутності рутенієвих комплексів глікольхітозан і 3-(4-гідроксифеніл) пропіонова кислота продовжують утворюватися під впливом синього світла. Гідрогель може містити антибіотики, які ефективно знищуватимуть бактерії. Використання цього гідрогелю ефективно зменшувало кровотечі у щурів з ушкодженням печінки (Kai-kai Zheng, & Qin-hao Gu, 2022).

Хітозан виявився достойним біоадгезивним кандидатом завдяки своїм унікальним властивостям, таким як хороша біосумісність, низька токсичність та

антибактеріальна активність. Під час досліджень було успішно використано періодат для окислення декстрану, а подальша реакція з хітозаном призвела до утворення гелю *in situ* за участю основи Шиффа. Крім того, використання складної метаболічної системи молочнокислих бактерій дало змогу ефективно синтезувати декстран з контрольованою молекулярною масою. Застосування хітозану в клеях показало його порівняно якісну адгезію з комерційним клеєм, пройшовши випробування на моделях пошкодження паренхіми печінки кролика.

Хірургічний клей на альгінатній основі. Альгінат натрію — це аніонний лінійний полісахарид із 1,4-зв'язаними залишками β -d-маннуронат (M) та 1,4-зв'язаними α -l-гулуронат (G). У присутності кальцію та інших двовалентних іонів альгінат натрію утворює іонний вуглеводень, який широко використовується для доставки ліків у тканинній інженерії. В основному одержаний з бурих водоростей альгінат натрію відзначається своєю великою популярністю в біомедичних дослідженнях завдяки таким властивостям, як висока біосумісність, низька токсичність, доступність та легкість інтеграції кальцію, натрію та інших двовалентних.

Існують два роди бактерій, які виробляють альгінат — *Pseudomonas* і *Azotobacter*. Більшість досліджень молекулярних механізмів біосинтезу бактеріального альгінату проведено на умовно-патогенних мікроорганізмах, таких як *Pseudomonas aeruginosa* або *Azotobacter vinelandii*, які, зазвичай, знаходяться в ґрунті. Незважаючи на те, що обидва роди використовуються для виробництва альгінату, в природі вони виділяють альгінат для різних цілей і з різними властивостями матеріалу: деякі штами *P. aeruginosa* (відомі як мукоїдні штами) виробляють велику кількість альгінату для сприяння утворенню слизу та високоструктурованих біоплівок, тоді як *Azotobacter* виробляє жорсткий альгінат, який надійно прикріплений до клітини і дає змогу утворювати цисти, стійкі до висихання (Hay, & Ur Rehman, 2013).

Гідрогелі, що містять альгінати, можуть бути отримані різними методами перенесення, і їх склад подібний до позаклітинних матриць живих тканин. Ці гідрогелі широко застосовуються для процесів загоєння ран, доставки біологічних препаратів, таких як малі молекули та білки, а також для проведення клітинних трансплантацій.

Натрієвий альгінат забезпечує прив'язку гідрогелів до тканин за допомогою взаємодії з пептидами, желатином, колагеном I типу та три кальцій фосфатом. Незважаючи на те, що альгінати вважаються біологічно розкладними та нетоксичними, альгінати з великою масою складно використати на практиці через їхні повільне біологічне розкладання та низькі механічні властивості. Однак натрієвий альгінат може бути окислений періодатом натрію, утворюючи диальдегід альгінату натрію, який є летким. Крім того, оксіальгінат може виступати як нетоксичний і біорозкладний агент для створення гідрогелів, які містять білки та полісахариди. Гідрогелі з альгінату натрію можуть включати лікарські речовини або клітини та сприяють відновленню тканин (загоєння ран, відновлення хрящів) (Zheng, & Guc, 2022).

Один із найпоширеніших способів створення клеїв на основі альгінату натрію полягає в розробці системи подвійної мережі. Групою дослідників під керівництвом Сонга був створений гемостатичний клей, який ефективно прилипає до тка-

нин, його гемостатична дія була перевірена на тваринних моделях кровотечі. Альгінат натрію був окислений періодатом натрію, утворюючи діальдегід альгінату натрію, який потім був з'єднаний з дофаміном за допомогою реакції Шиффа. Також була сформована мережа зшивання за допомогою поліаліламіну для підвищення міцності адгезії. Альгінат натрію та дофамін змішували протягом 5—10 с, що підтверджує покращення еластичності клею. Введення дофаміну-альгінату натрію на тваринній моделі кровотечі з печінки проявило гемостатичну ефективність. Ін'єкційний адгезив на основі альгінату та дофаміну відзначається потенціалом стати новим інструментом для лікування кровотечі, що виникає внаслідок хірургічного втручання чи травми (Zheng, & Guc, 2022).

Альгінат натрію, який є аніонним лінійним полісахаридом, виявляє широкий потенціал у біомедичних застосуваннях, особливо в галузях лікарської доставки, тканинної інженерії та гемостазу. З вивчення молекулярних механізмів біосинтезу альгінату виявлено, що деякі види бактерій (*Pseudomonas* і *Azotobacter*) виробляють альгінат з різними властивостями матеріалу. Гідрогелі на основі альгінату, отримані за різними методами зшивання, можуть знаходити застосування в хірургічній практиці, а також для доставки біоактивних речовин і клітин.

Хірургічний клей на основі желатину та полі (γ-глутамінової) кислоти. У 1990-х роках гідрогелі, зокрема ті, які базуються на желатині та полі (γ-глутамінової) кислоті, інтенсивно вивчалися як потенційні альтернативи ціаноакрилової кислоті та фібриновому клею для зупинки кровотеч. Гідрогель желатину та полі (γ-глутамінової) кислоти синтезовано за допомогою розчинного карбодіміду як каталізатора. Під час каталізу карбоксильна група поліглутамінової кислоти сполучається з аміногрупами в тканинах, утворюючи мережу, яка ефективно прилягає до тканини, закриваючи рану та зупиняючи кровотік. Результати досліджень підтверджують, що гідрогелі на основі желатину та полі (γ-глутамінової) кислоти проявляють вищу зв'язувальну здатність, ніж традиційні фібринові гелі, забезпечуючи кращий гемостатичний ефект і міцнішу адгезію до тканин легенів.

Полі (γ-глутамінова) кислота — це природний гомополімер, що утворюється через амідні зв'язки між ланками D- та L-глутамінової кислоти, пов'язаними α-аміно- та γ-вуглецевими групами. γ-ПГК та її похідні широко використовуються в гідрогелях, зволожувачах, флокулянтах, загусниках, диспергаторах, кріопротекторах, носіях ліків, а також у косметичних і біологічних харчових добавках завдяки своїм водорозчинним, біологічно розкладним властивостям, їстівним характеристикам та безпечності для людини та довкілля. Сьогодні основними джерелами вуглецю для виробництва γ-ПГК залишаються глюкоза та лимонна кислота, які використовуються у ферментаційному процесі (Tang та ін., 2015).

На сьогодні γ-ПГК може бути синтезована різними штамми бактерій, такими як *Bacillus spp.*, *Fusobacterium nucleatum*, а також деякими археями та еукаріотами. Спеціальні види *Bacillus* найчастіше використовуються для наукового дослідження біосинтезу γ-ПГК. Деякі бактерії, такі як L-глутаматзалежні (*B. subtilis* CGMCC 0833, *B. licheniformis* P-104) або L-глутаматнезалежні (наприклад, *B. subtilis* C1 і *B. amyloliquefaciens* LL3), виявляють здатність продукувати γ-ПГК. Для L-глутаматзалежних бактерій вихід γ-ПГК може бути підвищений за рахунок збільшення концентрації L-глутамату, але це може значно збільшити вартість виробництва.

Незважаючи на те, що продуктивність L-глутамат-незалежних продуцентів невисока, їхня простота та низька собівартість роблять їх більш практичними для промислового виробництва γ -ПГК. Однак вартість виробництва, включаючи продукти й обладнання, залишається основним обмеженням для мікробіологічного виробництва γ -ПГК. Зусилля при дослідженні ферментації γ -ПГК фокусуються на оптимізації умов росту для збільшення виходу γ -ПГК, зміні енантіомерного складу та маніпулюванні молекулярною масою γ -ПГК. Генна інженерія також може бути використана для підвищення виробництва γ -ПГК у незалежних від глутамату продуцентів, таких як *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis* і *E. coli* (Luo, & Guo, 2016).

Отже, гідрогелі желатину та полі (γ -глутамінової) кислоти можуть виступати як потенційні альтернативи кровоспинним засобам, таким як ціаноакрилова кислота та фібриновий клей. Гідрогель желатину та полі (γ -глутамінової) кислоти може бути створений за допомогою водорозчинного карбодіміду як каталізатора, що призводить до утворення міцної мережі, яка ефективно прилягає до тканин, закриваючи рани та зупиняючи кровотечу. Дослідження показали, що ці гідрогелі забезпечують міцне зв'язування, виявляють кращі гемостатичні ефекти та сильну адгезію до тканин. Недоліком є той факт, що собівартість γ -ПГК включає, окрім витрат на будівельні роботи, вартість продуцента та субстратів, і обмежується нижчою продуктивністю бактерій. Тож актуальним є вивчення оптимізації умов росту, зміні енантіомерного складу та молекулярної маси γ -ПГК, а також використання генної інженерії для підвищення ефективності виробництва цього багатобічного продукту.

Хірургічний клей на основі генно-інженерного супер поліпептидного адгезивного коацервату. Супер поліпептиди, похідні від еластиноподібних поліпептидів, в основному складаються з повторюваних пентапептидних послідовностей з первинною структурою (ВПГХГ) $_n$, де лізин (К) і глутамінова кислота (Е) займають четверте положення (Х). Ці поліпептиди були отримані за допомогою технології рекомбінантної ДНК та експресовані в *E. coli*. Серія супер поліпептидів різної довжини ланцюга та різним зарядом була створена, включаючи K18, K72, K108, E36, E72 та E144. Літерний код позначає позитивні (К) або негативні (Е) варіанти, а цифра вказує кількість заряджених амінокислотних залишків. Також була синтезована серія поверхнево-активних сполук, які містять 3,4-дигідроксифеніллаланін (ДОФА) або азобензолні фрагменти. Починаючи з L-ДОФА або 3-(3,4-дигідроксифеніл) пропанової кислоти, ліганди ДОФА з негативним і позитивним зарядом мають різну довжину хвоста, включаючи октил-, гексил- і децильні ланцюги, і легко синтезувалися шляхом послідовного захисту, амінування та видалення захисту (Sun та ін., 2021).

Для вивчення біоактивності суперполіпептидного клею комплексу СУП-ПАР було проведено культивування з раковими клітинами A549, а також з клітинними лініями L929 (фібробласти миші) і 293t (ембріональна нирка, епітеліальні клітини) в концентраційному режимі від 5 до 100 мкг/мл. Після 24 год культивування у присутності суперполіпептидних комплексів у середовищі Дульбекко життєздатність клітин залишалася на рівні не менше 80%, навіть при максимальній концентрації 100 мкг/мл, що свідчить про відсутність токсичності клею (Sun та ін., 2021).

Завдяки високій ефективності та відсутності токсичності було проведено дослідження із застосування суперполіпептидного адгезиву як *ex vivo*, так і *in vivo*,

включаючи процеси загоєння ран і адгезії до вологих тканин, таких як шкіра та м'язи свиней. Клей СУП успішно використовувався для з'єднання двох шарів сухожилля та для фіксації на свинячій шкірі. Його пікова міцність складає приблизно 180 мН, F/w — близько 26 Н/м⁻¹, а міцність адгезії на м'язах досягає 4393±1144 мДж×м⁻², подібно до ковалентно зшитого адгезиву на м'яких тканинах (Sun та ін., 2021).

Також була проведена оцінка адгезійної міцності клею СУП на свинячій шкірі, де зафіксована максимальна міцність близько 150 мН, F/w становить близько 20 Н×м⁻¹, а міцність адгезії складає 857±218 мДж×м². Така властивість може бути пов'язана з нековалентними взаємодіями та можливими взаємодіями між адгезивами й тканинними матеріалами (Sun та ін., 2021).

Також були вивчені гемостатичні властивості СУП-клею *in vivo*, де виявлено, що супер поліпептидний клей проявляє адгезію до тканин та властивості зупинки кровотечі на моделях свинячої печінки та кровотечі, припиняючи кровотечу протягом 10 секунд. Порівняно з гідрогелевими системами, адгезійні властивості коацерватних адгезивів СУП-ПАР виявилися кращими, а також не відзначалося набрякання, що свідчить про їхню вищу адгезію до тканин. У контрольному експерименті з використанням комерційного ціаноакрилату клей швидко затвердів, але кровотеча тривала, що підкреслює його непридатність для гемостазу в тканинах і органах (Sun та ін., 2021).

Синтезований за участі *E. coli* супер поліпептид з еластиноподібних поліпептидів, виготовлений за допомогою технології рекомбінантної ДНК та в супроводженні з дослідженням його біосумісності, виявився багатообіцяючим матеріалом для склеювання тканин у хірургії. Комплекси суперполіпептиду проявили високу життєздатність клітин при культивуванні та виявили мінімальну токсичність. Клей на основі суперполіпептиду ефективно застосовується для адгезії та загоєння ран на вологих тканинах, демонструючи велику адгезійну міцність і відмінні кровоспинні властивості. Подальше дослідження *in vivo* підтверджує успішність клею на основі супер поліпептиду в умовах кровотеч на тканинах свинячої печінки та нирок. Порівняно з комерційним ціаноакрилатом, суперполіпептидний клей може бути перспективним у забезпеченні ефективного гемостазу в тканинах та органах. Загалом, отримані результати вказують на потенційне використання суперполіпептидного клею як безпечного й ефективного засобу.

Хірургічний клей на основі хітозану характеризується високою біодоступністю, низькою токсичністю, мінімальною деградацією, антибактеріальною активністю та відсутністю антигенності. Найвні активні амінокислоти та молекулярні гідроксильні групи забезпечують різноманітні реактивні центри, роблячи хітозан відмінним кандидатом для застосувань у сфері біомедицини. Балакрішнан та його колеги визначили режим реального часу для окислення декстрану, після чого взаємодія декстрану з хітозаном призвела до утворення гелю *in situ* з використанням основи Шиффа (Zheng, & Guc, 2022).

Вимоги до хірургічних ізолюючих матеріалів. Хірургічні ізолюючі матеріали, як і будь-яка продукція для медичного застосування, повинна відповідати певним вимогам, які і будуть формувати їхню специфічність. Такі вимоги обов'язково слід враховувати при пошуку та розробці нових матеріалів. Саме на ці вимоги слід орієнтуватись при одержання таких матеріалів методами біотехнології.

Адгезія проти когезії. Однією з ключових аспектів адгезії є створення міцного міжфазного з'єднання з цільовою тканиною. Міцність цих зв'язків зумовлена балансом двох різних фізичних сил: адгезії та когезії (зчеплення). Адгезія визначається молекулярними взаємодіями на межі тканинного субстрату та адгезивних матеріалів. З іншого боку, міцність зчеплення залежить від молекулярних зв'язків у клеях, які стійко витримують напругу зсуву від зовнішніх сил (Bal-Ozturk та ін., 2021).

Суттєвими елементами успішного процесу склеювання є тісний контакт клейового матеріалу з поверхнею, яку об'єднуємо, та проникнення клейового матеріалу в поверхню, що склеюється. Ефективність склеювання залежить від ефективної площі контакту та здатності з'єднання з матеріалом для з'єднання забезпечити тісний контакт. Поглиблення забезпечує кращу адгезію за рахунок сильніших електричних взаємодій, змочування, поглиблення та покращеної механічної стійкості (Bal-Ozturk та ін., 2021).

Важливими факторами для досягнення міцної адгезії є чистота поверхні, її шорсткість, вміст вологи та належний вміст води в клейовому матеріалі, а також різні міжмолекулярні сили, фізико-хімічні властивості, сили притягання тощо. Зшивання також впливає на ефективність ущільнення, підвищуючи його міцність. З огляду на цю комбінацію факторів, вибір тканинного клею слід проводити з урахуванням характеристик обраної тканини (Bal-Ozturk та ін., 2021).

Для успішного зчеплення з тканиною матеріал повинен володіти не лише механічною міцністю, але й адгезивними властивостями ранової ділянки, уникаючи при цьому будь-яких побічних ефектів. Важливо, щоб він не перешкоджав процесу загоєння та не впливав на функцію або рух тканин. Крім того, оптимальний клейовий матеріал повинен відповідати вимогам біологічного розкладання, бути стерильним, біорозкладаним, сприяти ефективному загоєнню ран, а також бути легким у приготуванні та використанні, економічно ефективним (Bal-Ozturk та ін., 2021).

Спочатку клей формує міцні міжфазні зв'язки між двома компонентами тканини. Також важливо, щоб він забезпечував необхідну когезійну міцність і стійкість для забезпечення необхідної підтримки під час періоду загоєння рани. Характеристики текучості матеріалу повинні бути достатніми для легкості нанесення на цільову область, матеріал має швидко відновлюватися навіть за м'яких фізичних умов з метою зменшення кровотечі та скорочення тривалості операції (Bal-Ozturk та ін., 2021).

Механізм затвердіння клею є ключовим фактором для досягнення потрібних характеристик і механічної міцності. Цей процес, зазвичай, включає хімічне з'єднання за допомогою реактивних хімічних речовин, тепла, механічного закріплення або фотозатвердіння. Вибір конкретного методу значною мірою залежить від клейового матеріалу та його призначення. Фотополімеризація у виробництві біоадгезивів має ключове значення через швидкість виробництва, високі хіміко-механічні властивості та низьку вартість. До того ж світлове затвердіння може відбуватися без використання розчинників і нагрівання (Bal-Ozturk та ін., 2021).

Проте цей процес часто включає ультрафіолетову активацію в присутності фоторецептора. Останні дослідження показали, що використання видимого світла

для ковалентного з'єднання за участю фоторецептора є безпечнішою альтернативою ультрафіолетовому затвердінню. Для успішного загоєння тканини необхідна міцна адгезія та відповідна механічна міцність до цільової тканини. Зокрема, механічна міцність адгезиву повинна відповідати вимогам цільової тканини для ефективного підтримання процесу загоєння, особливо м'яких тканин, м'язів або кісток. Крім того, матеріал повинен забезпечувати механічні властивості, необхідні протягом усього періоду загоєння, і розкладатися шляхом відновлення тканин (Bal-Ozturk та ін., 2021).

Біосумісність і біодеградація. Біологічна сумісність є однією з ключових складових біоадгезивів. Матеріали та продукти їх розпаду повинні відповідати критеріям нетоксичності, відсутності подразнень, гіпоалергенності та відсутності канцерогенності. Зазначено, що процес загоєння клею включає хімічне склеювання з використанням реактивних хімікатів або фотозшивання. Окрім того, клеї містять добавки, такі як пластифікатори, прискорювачі та стабілізатори, які можуть мати токсичний ефект. Тому необхідно мінімізувати виділення реакційноздатних речовин і вплив інших додатків шляхом ретельного вибору матеріалів і прекурсорів.

Крім того, клеї повинні піддаватися біологічному розкладанню за допомогою гідролізу або ферментативного розкладання без утворення токсичних побічних продуктів. Основним аспектом є здатність матеріалу підтримувати свою структуру та нормально функціонувати протягом необхідного часу для підтримки сполучної тканини, доки відбудеться її регенерація. Після відновлення матеріал повинен повністю розкладатися без побічного втручання або утворення залишків токсичних продуктів (Bal-Ozturk та ін., 2021).

Загалом, деградація застосованого матеріалу повинна починатися через три тижні після нанесення та завершуватися через два місяці з продовженням періоду відновлення та природного загоєння ран.

Адгезивність. Процеси склеювання є складними, і розуміння механізму адгезії є ключовим для вивчення тканинних клеїв та їхнього застосування в клінічних умовах. Однак через їхню складність немає однозначної теорії, яка б вичерпно пояснювала всі аспекти цих процесів. Основні механізми, які сприяють кращому розумінню адгезії, можна узагальнити як механічне зчеплення, міжмолекулярний зв'язок, ланцюговий зв'язок, дифузія та електричний зв'язок. Зазвичай, адгезія відбувається через молекулярну взаємодію, яка може мати фізичний або хімічний характер, або за участі механічної адгезії, або взаємодії обох механізмів одночасно:

1. Міжмолекулярний зв'язок. Міжмолекулярний зв'язок є основним механізмом адгезії, який виникає внаслідок міжмолекулярних сил між адгезивом і адгезивом на прилеглий контактній поверхні. Ці міжмолекулярні сили включають первинні хімічні сили, такі як іонні, ковалентні та металеві зв'язки, а також вторинні фізичні сили у вигляді диполь-дипольної взаємодії, дисперсії Лондона та сил Ван-дер-Ваальса. Гіперболічний зв'язок може виникнути через первинні та вторинні сили або їх комбінацію. Важливо відзначити, що збільшення прикладеної сили перед утворенням з'єднання може підвищити щільність клею та площу контакту, що призведе до більш міцного зчеплення (Bal-Ozturk та ін., 2021).

Первинні зв'язки, зазвичай, виявляються більш міцними, ніж вторинні. Це обумовлено тим, що ці зв'язки формуються через взаємодію певної хімічної групи в молекулі адгезиву з відповідною хімічною групою на поверхні підкладки. Для зміцнення цієї взаємодії часто використовується попередня обробка поверхні. В цьому контексті клей може піддаватися хімічній модифікації шляхом введення в його хімічну структуру певних функціональних груп, які створюють хімічний зв'язок з адгезивом. Також можна використовувати зв'язуючі речовини та інші молекули для попередньої обробки поверхні клею, що сприяє адгезії.

Зокрема, ковалентний зв'язок є найпоширенішим типом зв'язку серед первинних зв'язків. Імовірно є взаємодія між різними функціональними групами, такими як активовані складні ефіри, ізоціонати, альдегіди та первинні аміни, що містяться в хімічних одиницях, розташованих на поверхні м'яких тканин. Ця взаємодія може відбуватися за допомогою іміну, реакції Дільса-Альдера або Шиффа (Bal-Ozturk та ін., 2021).

В адгезії важливу роль також відіграють вторинні сили. Коли між адгезивом і поверхнею приклеювання є багато доступних місць для другого з'єднання, ці зв'язки можуть підвищити міцність склеювання. Наприклад, клеї, використовуючи принцип речовин на лапках геконів, забезпечують адгезію через сили Ван-дер-Ваальса та капілярні сили. Оскільки адгезія пов'язана з фізичними та хімічними властивостями поверхні, вона залежить від фізичних характеристик контактної поверхні та її реакції на клей.

Під час адгезії та фізичної сорбції сили Ван-дер-Ваальса виникають з позитивних і негативних областей зв'язаних молекул і утримують поверхні двох матеріалів разом через близькість їхніх поверхонь. Ван-дер-Ваальсові взаємодії можуть бути важливими для адгезії. Дисперсійні сили Лондона виникають внаслідок сильної взаємодії між тимчасовими мультиполями атомів, які не мають постійної полярності (Bal-Ozturk та ін., 2021).

Існують різні способи визначення адгезії між адгезивом і поверхнею приклеювання, такі як донор-акцепторна взаємодія. Молекули з донорними та акцепторними властивостями сприяють утворенню молекулярного комплексу, який є більш міцно зв'язаним. Наприклад, кислота Льюїса та основа Льюїса можуть діяти як донори й акцептори електронів, і взаємодія типу водневого зв'язку також може розглядатися як донорно-акцепторна взаємодія.

Крім того, вологість тісно пов'язана з адгезією, а в теорії адсорбції утворення вторинних сил тісно пов'язане з вологістю адгезивів. Для ефективного змочування поверхнева енергія клею повинна бути вищою за поверхневу енергію поверхні. Тому попередню обробку поверхні можна використовувати для підвищення міцності поверхні клею. Відомо, що змочуваність суттєво залежить від сил Ван-дер-Ваальса, водневих зв'язків і кислотно-основних взаємодій (Bal-Ozturk та ін., 2021).

2. Електростатичне склеювання. Механізм електростатичного з'єднання ґрунтується на електричній взаємодії між позитивно зарядженим адгезивом і суміжними поверхнями, шляхом передачі електронів на межі розділу. Сила електростатичної взаємодії залежить від щільності заряду, яку можна змінити, модифікуючи вміст іонів у середовищі, що оточує адгезив. Проте для досягнення бажаної концентрації заряду при наявності компонентів ізолятора може знадобитися тривалий

час через повільне накопичення заряду та обмеження доступних електронів. Зокрема, цей метод використовується для матеріалів, які несумісні між собою, таких як полімери, напівпровідники або метали.

Внесок електростатичної взаємодії виявився невеликим порівняно з хімічними зв'язками. Однак існує можливість існування іншого механізму біoadгезії, який полягає в передачі електронів між глікопротеїнами адгезиву та біологічним матеріалом. Наприклад, взаємодія між муцином і хітозаном визначається електростатичними силами, підтримуваними водневими зв'язками та гідрофобними взаємодіями (Bal-Ozturk та ін., 2021).

3. *Механічне блокування.* Концепція механічного замикання є однією з найдавніших теорій адгезії. Вона охоплює процес проникнення клею в пори та модифікації поверхні клею. У такому разі клей заміщує повітря, що раніше утримувало поверхню, і взаємодіє з мікронерівностями поверхні, щоб забезпечити надійне з'єднання. Важливо контролювати стан поверхні через модифікацію для досягнення необхідної шорсткості й адгезійних властивостей.

Дослідники, зокрема Янг і його команда, використовуючи ендопаразита *Pomphorhynchus laevis*, розробили клей з мікроголками, що складаються з полі(стиролу)-блок-полі(акрилової кислоти), із набухаючим кінчиком та нелипким полістирольним ядром, що дає йому змогу прикріплюватися до тканинного субстрату (Bal-Ozturk та ін., 2021).

Змочуваність клею та його реологічні властивості є також важливими для міцності з'єднання, на додаток до шорсткості поверхні, пористості та деформації. Вміст вологи в клеї може впливати на адгезію через обмежену площу контакту. Клеї з низькою в'язкістю забезпечують краще проникнення в пори, що призводить до покращення міцності з'єднання.

Збільшення адгезії через механічне замикання вказує на збільшення площі розділу, вказуючи на сильне зчеплення між гладкими поверхнями та спайками. Амальгама, що використовується як пломба для зубних порожнин, є прикладом матеріалу, що демонструє механічну стійкість в адгезії (Bal-Ozturk та ін., 2021).

4. *Дифузія.* Перенесення полімерних ланцюгів на сусідню контактну поверхню через зону контакту впливає на адгезію. Щоб досягти дифузії полімерного ланцюга, адгезив і контактна поверхня повинні бути сумісні один з одним, а полімерні ланцюги обох матеріалів повинні мати хорошу рухливість. На цей процес також впливають концентрація, молекулярна маса, довжина ланцюга й температура, оскільки це безпосередньо впливає на рухливість полімерних мереж. Міцність клею залежить від часу склеювання, крім згаданих факторів. Наприклад, у мукоадгезивних системах процес дифузії включає розподіл полімерних ланцюгів у глікопротеїновій мережі як функцію часу. Основними параметрами, пов'язаними з цією взаємодією, є коефіцієнт розподілу, молекулярна маса полімерів, рухливість ланцюга, щільність зшивання, топологічні характеристики й температура, при якій відбувається зв'язування (Bal-Ozturk та ін., 2021).

Висновки

В огляді підсумовано значний потенціал у застосуванні нових матеріалів для створення хірургічних клеїв. Гідрогелі на основі желатину та полі(γ -глутамінової)

кислоти мають здатність зупиняти кровотечі та високу адгезійну міцність до тканин. З іншого боку, генно-інженерний суперполіпептидний адгезивний коацерват також проявився як перспективна альтернатива для класичних клеїв, забезпечуючи ефективну адгезію та зупинку кровотечі без токсичних ефектів для клітин. Ці відкриття вказують на можливість подальшого вдосконалення методів хірургічного лікування та розвитку нових інструментів для захисту тканин і забезпечення їхнього швидкого й ефективного загоєння. Додаткові дослідження та розвиток технологій у цьому напрямку можуть сприяти створенню нових клеїв, які будуть відповідати вимогам сучасної хірургічної практики, забезпечуючи безпеку, ефективність і швидке відновлення тканин після операційного втручання.

Література

- Соломон, А. М., Казмірук, Н. М., Тузова, С. Д. (2020). *Мікробіологія харчових виробництв*: навчальний посібник для студентів напряму підготовки «Харчові технології». Вінниця: РВВ ВНАУ. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://repository.vsuau.org/getfile.php/25443.pdf>.
- Сорока, В. І., Божок, Л. В., Дерев'яно, С. В., Дяченко, Г. М., Прокопенко, О. І., Агєєв, В. О. Властивості штамів мікроорганізмів *Lactobacillus plantarum* L5 і *Bacillus subtilis* B3 та перспективи їх використання у тваринництві. Інститут сільськогосподарської мікробіології УААН, вул. Шевченка, 97, м. Чернігів, 14027, Україна. УДК 579:636. [Електронний ресурс] Режим доступу: chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcgclefindmkaj/http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/29971/13-Soroka.pdf?sequence=1.
- Тарасенко, К. В., Громова, А. М., Шафарчук, В. М., Нестеренко, Л. А. Зростання частоти кесаревого розтину як проблема сучасного акушерства. Українська медична стоматологічна академія, Полтава, Україна. DOI: 10.26693/jmbs04.05.197 УДК 618.5-089.888.61 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://jmbs.com.ua/pdf/4/5/jmbs0-2019-4-5-197.pdf>.
- Adarsha, H. J. Gowda, Yazhong Bu, Olena Kudina, K. Vijaya Krishna, Raghvendra A. Bohara, David Eglin, Abhay Pandit. (2020) Design of tunable gelatin-dopamine based bioadhesives, *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 1384—1391, ISSN 0141-8130, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.195>. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014181302039544>.
- Vajaj, I. B., & Singhal, R. S. (2008). Enhanced Production of Poly (γ -glutamic acid) from *Bacillus licheniformis* NCIM 2324 by Using Metabolic Precursors. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 159(1), 133—141. doi:10.1007/s12010-008-8427-5 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1007/s12010-008-8427-5>.
- Bal-Ozturk A., Cecen B., Avcı-Adalı M., Topkaya, S. N., Alarcin, E., Yasayan, G., Ethan, Y. C., Bulkurcuoglu, B., Akpek, A., Avcı, H., Shi, K., Shin, S. R., Hassan, S. (2021). Tissue Adhesives: From Research to Clinical Translation. *Nano Today*. 36:101049. doi: 10.1016/j.nantod.2020.101049. Epub 2020 Dec 20. PMID: 33425002; PMCID: PMC7793024. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7793024/>.
- Balakrishnan, B., Soman, D., Payanam, U., Laurent, A., Labarre, D., & Jayakrishnan, A. (2017). A novel injectable tissue adhesive based on oxidized dextran and chitosan. *Acta Biomaterialia*, 53, 343—354. doi:10.1016/j.actbio.2017.01.065 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1742706117300740?via%3Dihub>.
- Berg, L., & Yang, Z. (1992). Separation of methylene chloride from the lower alcohols by extractive distillation US Patent No. US-5152876-A. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/US5152876A>.
- Bhagat, V., & Becker, M. L. (2017). Degradable Adhesives for Surgery and Tissue Engineering. *Biomacromolecules*, 18(10), 3009—3039. doi:10.1021/acs.biomac.7b00969 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.biomac.7b00969#>.
- Bo Peng, Xinyi Lai, Lei Chen, Xuemei Lin, Chengxin Sun, Lixin Liu, Shaohai Qi, Yongming Chen, and Kam W. Leong. (2017). Scarless Wound Closure by a Mussel-Inspired Poly(amidoamine)

Tissue Adhesive with Tunable Degradability. *ACS Omega*, 2(9), 6053—6062 DOI: 10.1021/acsomega.7b01221. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.7b01221>.

Bovone, G., Dudaryeva, O. Y., Marco-Dufort, B., & Tibbitt, M. W. (2021). Engineering Hydrogel Adhesion for Biomedical Applications via Chemical Design of the Junction. *ACS Biomaterials Science & Engineering*. doi:10.1021/acsbomaterials.0c01677 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsbomaterials.0c01677#>.

Chao Ma, Jing Sun, Bo Li, Yang Feng, Yao Sun, Li Xiang, Baiheng Wu, Lingling Xiao, Baimei Liu, Vladislav S. Petrovskii, Bin Liu, Jinrui Zhang, Zili Wang, Hongyan Li, Lei Zhang, Jingjing Li, Fan Wang, Robert Göstl, Igor I. Potemkin, Dong Chen, Hongbo Zeng, Hongjie Zhang, Kai Liu, & Andreas Herrmann. Ultra-strong bio-glue from genetically engineered polypeptides. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-23117-9>.

De Cesaro, A., da Silva, S. B., da Silva, V. Z., & Ayub, M. A. Z. (2014). Physico-chemical and rheological characterization of poly-gamma-glutamic acid produced by a new strain of *Bacillus subtilis*. *European Polymer Journal*, 57, 91—98. doi:10.1016/j.eurpolymj.2014.04.017 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://sci-hub.se/10.1016/j.eurpolymj.2014.04.017>.

Deeksha, R. Pai, Krishnananda, Kamath, E. V. S. Subramanyam, A. R. Shabaraya. (2016). Personnel Training for Pharmaceutical Industry. *International Journal of Pharmaceutical Quality Assurance*, 7(3); 55—61. ISSN 0975 9506 [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/310615967_Personnel_training_for_pharmaceutical_industry.

Dinte, E., & Sylvester, B. (2018). Adhesives: Applications and Recent Advances. *Applied Adhesive Bonding in Science and Technology*. doi:10.5772/intechopen.71854 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://sci-hub.se/10.5772/intechopen.71854>.

Du Renpeng, Liansheng Yu, Meng Sun, Guangbin Ye, Yi Yang, Bosen Zhou, Zhigang Qian, Hongzhi Ling, and Jingping Ge. (2023). "Characterization of Dextran Biosynthesized by Glucanase from *Leuconostoc pseudomesenteroides* and Their Potential Biotechnological Applications" *Antioxidants*, 12, no. 2:275. <https://doi.org/10.3390/antiox12020275> [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-3921/12/2/275>.

Ferreira, Paula, & Gil, Helena, & Alves, Patrícia. (2013). An overview in surgical adhesives. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/235348362_An_overview_in_surgical_adhesives.

Ghasemi, Y., Shahbazi, M., Rasoul-Amini, S., Kargar, M., Safari, A., Kazemi, A., & Montazeri-Najafabady, N. (2011). Identification and characterization of feather-degrading bacteria from keratin-rich wastes. *Annals of Microbiology*, 62(2), 737—744. doi:10.1007/s13213-011-0313-7 [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/251359710_Identification_and_characterization_of_feather-degrading_bacteria_from_keratin-rich_wastes.

Hauser, D., Septiadi, D., Turner, J., Petri-Fink, A., Rothen-Rutishauser, B. (2020). From Bioinspired Glue to Medicine: Polydopamine as a Biomedical Material. *Materials*, 13, 1730. <https://doi.org/10.3390/ma13071730> [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/7/1730>.

Hay, I. D., Ur Rehman, Z., Moradali, M. F., Wang, Y., Rehm, B. H. (2013). Microbial alginate production, modification and its applications. *Microb Biotechnol*. 2013;6(6):637-650. doi:10.1111/1751-7915.12076 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3815931/>.

Hennig, K., Meyer, W. (2022). Synthesis and Characterization of Catechol-Containing Polyacrylamides with Adhesive Properties. *Molecules*, 27, 4027. <https://doi.org/10.3390/molecules27134027> [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/13/4027>.

Hideharu, S. (2016). Validation Study and Quality Assurance of Pharmaceutical Water, Waterborne Microorganisms and Endotoxins. *Biocontrol Science*, Vol. 21, No. 4, 203—214. [Електронний ресурс] Режим доступу: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/> https://www.jstage.jst.go.jp/article/bio/21/4/21_203/_pdf.

Zheng, K., Guc, Q., Zhoud, D., Zhoue, M., Zhang, L. (2022). Recent progress in surgical adhesives for biomedical applications. *Smart Materials in Medicine*, 3, 41—65. <https://doi.org/10.1016/j.smaim>.

2021.11.004 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590183421000405>.

Koirala, P., Maina, N. H., Nihtilä, H. et al. (2021). Brewers' spent grain as substrate for dextran biosynthesis by *Leuconostoc pseudomesenteroides* DSM20193 and *Weissella confusa* A16. *Microb Cell Fact*, 20, 23. <https://doi.org/10.1186/s12934-021-01515-4> [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://microbialcellfactories.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12934-021-01515-4>.

Kongklom, N., Luo, H., Shi, Z., Pechyen, C., Chisti, Y., & Sirisansaneeyakul, S. (2015). Production of poly- γ -glutamic acid by glutamic acid-independent *Bacillus licheniformis* TISTR 1010 using different feeding strategies. *Biochemical Engineering Journal*, 100, 67—75. doi:10.1016/j.bej.2015.04.007 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.bej.2015.04.007>.

Lima, L. F., Sousa, M. G. D. C., Rodrigues, G. R., de Oliveira, K. B. S., Pereira, A. M., da Costa, A., Machado, R., Franco, O. L. and Dias, S. C. (2022). Elastin-like Polypeptides in Development of Nanomaterials for Application in the Medical Field. *Front. Nanotechnol.* 4:874790. doi: 10.3389/fnano.2022.874790 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnano.2022.874790/full>.

Liu, W.-C., Wang, H.-Y., Lee, T.-H., & Chung, R.-J. (2019). Gamma-poly glutamate/gelatin composite hydrogels crosslinked by proanthocyanidins for wound healing. *Materials Science and Engineering*, C, 101, 630—639. doi:10.1016/j.msec.2019.04.018 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493118330054>.

Luo, Z., Guo, Y., Liu, J. et al. (2016). Microbial synthesis of poly- γ -glutamic acid: current progress, challenges, and future perspectives. *Biotechnol Biofuels*, 9, 134. <https://doi.org/10.1186/s13068-016-0537-7> [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-016-0537-7>.

Ma, L., Dai, L., Yang, Y., Liu, H. (2018). Comparison the efficacy of hemorrhage control of Surgiflo Haemostatic Matrix and absorbable gelatin sponge in posterior lumbar surgery: A randomized controlled study. *Medicine* (Baltimore). Dec; 97(49): e13511. doi: 10.1097/MD.00000000000013511. PMID: 30544449; PMCID: PMC6310587. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6310587/>.

Mathew-Steiner, S. S., Roy, S., Sen, C. K. (2021). Collagen in Wound Healing. *Bioengineering* (Basel). 11; 8(5): 63. doi: 10.3390/bioengineering8050063. PMID: 34064689; PMCID: PMC8151502. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8151502/>.

Min, Li, Yan, He, Xia, Ma. Separation and quantitative detection of fermentation γ -polyglutamic acid. School of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2022.03.015> [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772566922000283#bib0057>.

Peng, Y., Jiang, B., Zhang, T., Mu, W., Miao, M., & Hua, Y. (2015). High-level production of poly(γ -glutamic acid) by a newly isolated glutamate-independent strain, *Bacillus methylotrophicus*. *Process Biochemistry*, 50(3), 329—335. doi:10.1016/j.procbio.2014.12.024 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.12.024>.

Pratik Swarup Das, Puja Saha, Krishan and Rumpa Das. (2018). Pharmaceutical packaging technology: a brief outline. Noida Institute of Engineering and Technology, Pharmacy Institute, Gr. Noida, U.P. Girijananda Chowdhury Institute of Pharmaceutical Science, Guwahati, Assam. ISSN: 2457-0400 2(1), 16—21. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/322224057_Pharmaceutical_Packaging_Technology_A_Brief_Outline.

Restaino, O. F.; Hejazi, S.; Zannini, D.; Giosafatto, C. V. L.; Di Pierro, P.; Cassese, E.; D'ambrosio, S.; Santagata, G.; Schiraldi, C.; Porta, R. (2022). Exploiting Potential Biotechnological Applications of Poly- γ -glutamic Acid Low Molecular Weight Fractions Obtained by Membrane-Based Ultra-Filtration. *Polymers*, 14, 1190. <https://doi.org/10.3390/polym14061190> [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/6/1190>.

Sanders, L., Nagatomi, J. (2014). Clinical applications of surgical adhesives and sealants. *Crit Rev Biomed Eng.* 42(3—4): 271—92. doi: 10.1615/critrevbiomedeng.2014011676. PMID: 25597240;

PMCID: PMC7997729. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7997729/>.

Sun, J., Xiao, L., Li, B., Zhao, Kelu, Wang, Z., Zhou, Yu, ... , Liu, K. (2021). Genetically Engineered Polypeptide Adhesive Coacervates for Surgical Applications. *Angewandte Chemie International Edition*. doi:10.1002/anie.202100064 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/anie.202100064>.

Tang, B., Lei, P., Xu, Z., Jiang, Y., Xu, Z., Liang, J., ..., Xu, H. (2015). Highly efficient rice straw utilization for poly-(γ -glutamic acid) production by *Bacillus subtilis* NX-2. *Bioresource Technology*, 193, 370—376. doi:10.1016/j.biortech.2015.05.110 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.110>.

Wai-Ching Liu, Huey-Yuan Wang, Tsung-Han Lee, Ren-Jei Chung. (2019). Gamma-poly glutamate/gelatin composite hydrogels crosslinked by proanthocyanidins for wound healing. *Materials Science and Engineering*, 101, 630—639, ISSN 0928-4931, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.04.018>. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493118330054>.

Wawrzynkiewicz, A., Rozpedek-Kaminska, W., Galita, G., Lukomska-Szymanska, M., Lapinska, B., Sokolowski, J., Majsterek, I. (2021). The Toxicity of Universal Dental Adhesives: An In Vitro Study. *Polymers (Basel)*. 13(16): 2653. doi: 10.3390/polym13162653. PMID: 34451192; PMCID: PMC8400476. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8400476/>.

Xu, Z., Feng, X., Zhang, D., Tang, B., Lei, P., Liang, J., & Xu, H. (2014). Enhanced poly(γ -glutamic acid) fermentation by *Bacillus subtilis* NX-2 immobilized in an aerobic plant fibrous-bed bioreactor. *Bioresource Technology*, 155, 8—14. doi:10.1016/j.biortech.2013.12.080 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.080>.

Zhao, C., Zhang, Y., Wei, X., Hu, Z., Zhu, F., Xu, L., ..., Liu, H. (2013). Production of Ultra-high Molecular Weight Poly- γ -Glutamic Acid with *Bacillus licheniformis* P-104 and Characterization of its Flocculation Properties. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 170(3), 562—572. doi:10.1007/s12010-013-0214-2 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1007/s12010-013-0214-2>.

Zhiting Luo, Yuan Guo, Jidong Liu, Hua Qiu, Mouming Zhao, Wei Zou and Shubo Li. Microbial synthesis of poly- γ -glutamic acid: current progress, challenges, and future perspectives. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-016-0537-7#Sec16>.

Zhu, F., Cai, J., Zheng, Q., Zhu, X., Cen, P., & Xu, Z. (2013). A novel approach for poly- γ -glutamic acid production using xylose and corncob fibres hydrolysate in *Bacillus subtilis* HB-1. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 89(4), 616—622. doi:10.1002/jctb.4169 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1002/jctb.4169>.

Yuk, H., Wu, J., Sarrafian, T. L., Mao, X., Varela, C. E., Roche, E. T., ..., Zhao, X. (2021). Rapid and coagulation-independent haemostatic sealing by a paste inspired by barnacle glue. *Nature Biomedical Engineering*. doi:10.1038/s41551-021-00769-y [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://sci-hub.se/http://dx.doi.org/10.1038/s41551-021-00769-y>.

RETENTION AND DEVELOPMENT OF PERSONNEL OF FOOD INDUSTRY COMPANIES DURING THE WAR

V. Ovadiuk, O. Dragan

National University of Food Technologies

Key words:

*Conservation
Development
Personnel
War
Measures
Enterprise
Food industry*

Article history:

Received 12.04.2024
Received in revised form
25.04.2024
Accepted 13.05.2024

Corresponding author:

Victoria Ovadiuk

E-mail:

vika14ovadiuk@gmail.com

Citation: Овадюк В. О., Драган О. І. (2024). Збереження і розвиток персоналу компаній харчової промисловості під час війни. *Наукові праці НУХТ*, 30(3), 38—47.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-5

ABSTRACT

Investigational questions of maintenance and development of personnel of the enterprises of food industry in the war-time are described in the article. Successful experience of MHP, Nestle, Coca-Cola, Kernel, Danone companies was analyzed. Thus, MHP company inculcated the following events for supporting the personnel: providing of employees' safety by evacuation from the zone of conflict; creation of child's centers for workers' children; development of the program of reintegration for soldiery veterans; and grant for psychological support.

Nestle company organized events for the development of personnel in the war-time: providing Ukrainians, that had extraordinarily heavy circumstances, by food products and money payments through local humanitarian organizations; help Ukrainians in nearby countries; investments to Ukraine in a new production.

Coca-Cola Beverage Ukraine supported Society of Red Cross for the grant of the first aid in Ukraine; gave finances to volunteer motion for organization of humanitarian help on borders; maintained of the inwardly moved persons; providing safety and support of the employees and their families.

Implementation of HR tasks in difficult conditions provides the teams of Kernel company: reacting on skilled changes through workers mobilization; specialists relocation and providing their vitality on the temporally occupied regions; closing of vacancies by internal personnel; training of universal personnel was due to their studies after professional directions and forming of skilled reserve for maintenance of internal examination and timely willingness to replace colleagues in critical circumstances.

Danone Company for maintenance of personnel actively works on bringing new talented persons to their teams, especially in the context of proceeding in labour market in Ukraine. Overall, maintenance, improvement of welfare and development of personnel are important tasks for companies, especially in the conditions of renewal after the war and global changes.

ЗБЕРЕЖЕННЯ І РОЗВИТОК ПЕРСОНАЛУ КОМПАНІЙ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ПІД ЧАС ВІЙНИ

В. О. Овадюк, О. І. Драган

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено питання збереження та розвитку персоналу підприємств харчової промисловості під час війни. Детально проаналізовано успішний досвід найкращих компаній МХП, Нестле, Кока-Кола, Кернел, Данон. Так, компанія МХП впровадила такі заходи, щоб підтримати свій персонал: забезпечення безпеки співробітників шляхом евакуації із зони конфлікту; створення дитячих центрів для дітей працівників; розроблення програми реінтеграції для військових ветеранів; надання психологічної підтримки.

Компанія Нестле під час війни організувала забезпечення українців, які опинились у надзвичайно складних обставинах, харчовими продуктами та грошовими внесками через місцеві гуманітарні організації; допомогу українцям, що перебувають в сусідніх країнах; інвестиції в Україну у нове виробництво.

Компанія Кока-Кола Беверіджиз Україна підтримала розвиток працівників у непередбачених умовах: виділення коштів Товариству Червоного Хреста для надання невідкладної допомоги в Україні; фінансове підтримання волонтерського руху для організації гуманітарної допомоги на кордонах; підтримання внутрішньо переміщених осіб; забезпечення безпеки та підтримки своїх співробітників та їхніх сімей; збереження робочих місць.

Виконання завдань HR-командою компанії Кернел в складних умовах передбачає: реагування на кадрові зміни через мобілізацію працівників; релокацію фахівців і забезпечення їхньої життєстійкості з тимчасово окупованих регіонів; закриття вакансій внутрішніми кадрами; підготовка універсальних кадрів за рахунок навчання персоналу за професійними напрямками та формування кадрового резерву для збереження внутрішньої експертизи і вчасної готовності замінити колег у критичних обставинах.

Компанія Danone для збереження кадрів активно працює над залученням нових талантів до своїх команд, особливо в контексті відновлення ринку праці в Україні. Загалом, збереження, покращення добробуту та розвиток персоналу є важливими завданнями для компаній, особливо в умовах відновлення після війни та глобальних змін.

Ключові слова: збереження, розвиток, персонал, війна, заходи, підприємство, харчова промисловість.

Постановка проблеми. Повномасштабне російське вторгнення в Україну суттєво вплинуло на всі сфери життя, включаючи й харчову промисловість. Багато підприємств були змушені зупинити свою роботу, а ті, що продовжують працювати, зіштовхнулися з численними викликами і загрозами. Руйнування інфраструктури, блокада портів та інші фактори ускладнюють доставку сировини та го-

тової продукції. Також війна призвела до значного зростання цін на енергоресурси, сировину та інші складові виробництва. Важливо зазначити й те, що багато висококваліфікованих фахівців харчової промисловості виїхали з України через війну.

У цих складних умовах розвиток персоналу стає одним із ключових факторів виживання та успішного функціонування компаній харчової промисловості. Однак існують такі загальні проблеми, як невизначеність щодо майбутнього, негативний вплив на мотивацію працівників, ускладненість доступу до традиційних методів навчання та розвитку персоналу (тренінги, семінари та курси), обмеженість фінансових та інших ресурсів, які можуть бути задіяні для розвитку співробітників.

Отже, питання розвитку персоналу під час війни наразі є *актуальним* для HR-менеджерів і компаній, які хочуть утримати рівень конкурентоспроможності на ринку харчової промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальними для сьогодення стали наукові дослідження і публікації з теми управління персоналом в умовах війни, коли персонал зазнає постійних стресових чинників, потребує опікування особою безпекою, непередбаченістю власних дій щодо майбутніх перспектив і розвитку в професії тощо. З цієї точки зору цікавим є досвід управління персоналом компаній Ізраїлю, який вже довгий час перебуває в стані війни. Зокрема, цьому питанню приділяє увагу Йонатан Шерцер, який досліджує функції відділів кадрів ізраїльських компаній під час війни: усунення двозначності та невизначеності; надання менеджерам інструментів, необхідних для вирішення таких обставин; збереження стійкості та високого морального духу; нагляд за волонтерськими програмами; підтримання зв'язку з резервними силами; надання допомоги сім'ям, які постраждали від війни; проведення ефективного скорочення робочої сили без шкоди здатності компанії продовжувати діяльність; управління напругою на робочому місці (Shertzer, 2024).

Вітчизняні автори В. Куделя і В. Яковенко у своїй статті акцентують увагу на програмах безпеки для працівників компаній в Ізраїлі, які включають належний моніторинг та інформаційну підтримку для співробітників і їхніх сімей, також надають різноманітні програми захисту та допомоги (Куделя, & Яковенко, 2023).

Досліджуючи управління персоналом в умовах військових дій, вчені виявили і негативні явища, а саме: обмеження свободи дій і рішень, надзвичайні обставини та нестабільність політично-економічної ситуації. Автори відмічають, що потрібно використовувати гнучкість, перепідготовку та комунікацію для забезпечення успішного функціонування в непередбачуваних умовах (Хлебнікова, Темченко, & Білінська, 2023).

Науковці О. Пшик-Ковальська, О. Ковальський на основі аналізу тенденцій щодо управління персоналом на підприємствах в умовах воєнного стану охарактеризували особливості функцій планування, організування, мотивування, контролювання та регулювання діяльності працівників через призму їх збереження на підприємстві (Пшик-Ковальська, & Ковальський, 2022).

О. Череп, Ю. Калюжна, Л. Михайліченко у своїй статті охарактеризували методи стимулювання та впливу на персонал, розробили класифікацію соціально-

психологічних методів дистанційного управління персоналом у сучасних українських умовах (Череп, Калужна, & Михайліченко, 2022).

Кетрін Муді — авторка багатьох статей з HR-менеджменту, зазначає, що світ постійно змінюється і кадрова служба повинна першою реагувати на ці зміни і тренди, які б вони не були — позитивні чи негативні (Moody, 2017). Погоджуємося з дослідженнями і висновками, які роблять науковці, вважаємо, що є затребуваність у подальшому дослідженні особливостей управління персоналом з урахуванням вимог галузевої специфіки та умов воєнного стану в країні.

Мета статті: дослідити вплив війни на збереження та розвиток персоналу на підприємствах харчової промисловості, зокрема з'ясувати, з якими проблемами стикаються HR-департаменти підприємств харчової промисловості, які методи та заходи потрібно розробити для подальшої мотивації співробітників для ефективної і продуктивної роботи.

Матеріали і методи. Для дослідження були використані такі загальнонаукові методи, як аналіз, синтез, індукція і дедукція, логічне узагальнення. Інформаційним забезпеченням стали відкриті інтернет-джерела, офіційні сайти підприємств, статті про діяльність, проблеми, новації та розвиток персоналу підприємств під час війни.

Викладення основних результатів дослідження. В численних публікаціях проводилися дослідження щодо HR-практик, які реалізовували компанії після початку війни в різних галузях економіки (Голубнича, 2022). У розрізі підприємств харчової промисловості такі дослідження окремо не проводилися, тому для вивчення впливу війни на збереження та розвиток персоналу були обрані найкращі підприємства харчової промисловості: МХП, Нестле, Кока-Кола, Кернел, Данон.

Досвід МХП. МХП — міжнародна компанія, яка є найбільшим виробником та експортером курятини в Україні. Вона також займається іншою аграрною діяльністю, включаючи виробництво м'ясо-ковбасних виробів і готових до вживання м'ясних виробів. МХП об'єднує більш ніж 26 тис. співробітників на понад 40 підприємствах у 17 регіонах України та близько 4 тис. співробітників за кордоном (МХП, 2024).

На початку війни бізнес-модель МХП залишилася незмінною. Підприємства продовжували роботу, логістика швидко адаптувалася до нових викликів, а торговельна команда не припиняла свою діяльність. Основним пріоритетом МХП стало забезпечення продовольчої безпеки країни. Компанія допомагала партнерам вирішувати тисячі нагальних питань по всіх регіонах (Булах, 2023).

МХП — один із небагатьох виробників у FMCG-секторі, який не змінив комерційну політику під час війни. Компанія не скасувала відстрочку платежів і продовжила виконувати всі маркетингові зобов'язання щодо бонусів. 24 лютого 2022 року керівництво МХП повідомило партнерам, що основним завданням є продуктова безпека, тому не час говорити про гроші та фінансові показники. Зараз МХП зосереджується на тому, щоб українцям було що їсти. Компанія пропонує партнерам також концентруватися на вирішенні цього важливого завдання (Морозов, 2022).

За даними журналу Forbes Ukraine, підприємство МХП здійснило ряд заходів для підтримки персоналу. В інтерв'ю Андрій Булах, заступник голови правління, зазначив, що повномасштабне вторгнення Росії в Україну суттєво вплинуло на

життя людей, зокрема й на працівників МХП. Компанія розуміла, що в людей виникають нові потреби, й одразу ж почала на них реагувати (Булах, 2023).

Евакуація, створення дитячих центрів, реінтеграція ветеранів і психологічна підтримка стали ключовими напрямками роботи МХП з командою під час війни. Незважаючи на складні обставини, компанія зберегла свої ключові принципи у піклуванні про персонал. МХП й надалі вважає, що людина сама має бути зацікавлена в розвитку та зростанні. Для того, щоб допомогти людям розкрити свій потенціал, МХП розпочала програму Talent Council (Громова, 2024). Ця програма включає аналіз професійних та особистих навичок, потенціалу та результативності кожного співробітника з подальшим підбором індивідуальних траєкторій розвитку. Отже, МХП прагне забезпечити своїм працівникам можливості для зростання й розвитку навіть у найскладніші часи.

Також варто зазначити, що для співробітників, які повернуться з фронту, створено індивідуальну програму реінтеграції під назвою «МХП поряд. Програма життєстійкості» (Бойченко, 2023). Суть цієї програми полягає в тому, аби зробити все можливе, щоб допомогти ветеранам адаптуватися до мирного життя й максимально комфортно повернутися до роботи.

Тривалість програми буде варіюватися від 6 місяців до 1,5 року, залежно від потреб і побажань конкретної людини. Передбачається допомога психолога у подоланні наслідків бойових дій, лікування та реабілітація (за необхідністю), працевлаштування або повернення на попередню посаду, вирішення побутових та юридичних питань (Бойченко, 2023).

Досвід Нестле. Компанія Нестле Україна є частиною швейцарської корпорації Nestlé S. A., яка має 344 фабрики у 77 країнах світу. Це перша мультинаціональна компанія, яка зробила великі інвестиції в Україну, не чекаючи завершення війни (Дзанеллі, 2023). Компанія Нестле має три фабрики в Україні. Львівська кондитерська фабрика та Волинська фабрика холодних соусів відновили роботу з перших днів війни. Харківська фабрика не працює з початку повномасштабного вторгнення через небезпечну ситуацію в місті.

Незважаючи на складну ситуацію, Nestle зберегла повний штат співробітників. Підприємство виплачує заробітну плату, збережено додаткові пільги всім співробітникам, включаючи тих, хто не може працювати. Це свідчить про відповідальність компанії перед своїми працівниками та Україною.

Нестле також активно допомагає населенню України, яке постраждало від війни. Компанія надала понад 100 млн грн гуманітарної допомоги. Нестле вірить в Україну та її майбутнє. Підприємство планує і надалі інвестувати в Україну та розвивати свій бізнес в країні (Карелова, 2022).

За даними інтерв'ю FORBES безпека працівників компанії Нестле стала пріоритетом для компанії. Були обладнані сховища з усім необхідним, організована евакуація в безпечні місця. Фінансова безпека також не лишилась осторонь. Нестле виплачувала 100% заробітної плати навіть тим, хто не міг працювати. До того ж дотримувалися зобов'язань щодо перегляду зарплат, виплат бонусів, допомоги тим, хто виїхав, підвищення зарплат на 10% та виплати спеціальної премії. Зарплата виплачувалася й тим, хто служив у ЗСУ.

З лютого 2022 року діє програма Ukraine, WeCare, яка забезпечує фізичну, фінансову та психологічну безпеку працівників (разова грошова допомога, компенсація за житло, додаткові премії для тих, хто працював під час тривоги). Загальний гаманець програми склав 281 млн грн. Також була організована допомога тим, чиє житло зруйнували. Міжнародні колеги зібрали 12 млн грн для 69 таких працівників (Карелова, 2022).

Нестле запусив Talent Marketplace для українських працівників. Ця платформа надає їм можливість зареєструватися кандидатами на вакансії в компанії за межами України. Для компанії важливо зберегти своїх талановитих працівників, навіть якщо вони вирішили виїхати з України через війну.

Talent Marketplace вже має історію успіху. Деякі люди вирішили змінити сферу діяльності в компанії, прийняли пропозиції та почали працювати на нових посадах. Для таких переходів Нестле формує план навчання, який включає онлайн-курси та наставництво. Війна спонукала компанію розширити своє бачення можливостей людей з різних функцій і підрозділів бізнесу (Карелова, 2023).

Досвід Кока-Коли. Компанія Кока-Кола Беверіджиз Україна (ПІ «Кока-Кола Беверіджиз Україна Лімітед») — це українська філія грецької компанії Coca-Cola Hellenic, яка займається виробленням напоїв під брендами, що належать The Coca-Cola Company (Кока-кола, 2024).

З перших днів повномасштабної війни компанія активно допомагає Україні. Корпоративна система компанії разом із фундацією Coca-Cola виділила понад 30 млн дол. США на благодійну підтримку. Ця підтримка включає продукти харчування, воду, медикаменти та інші предмети першої необхідності для тих, хто постраждав від війни, допомогу лікарням і медичним закладам, фізичну та матеріальну допомогу у відновленні шкіл, доріг, мостів та інших критично важливих об'єктів (Кока-кола, 2024).

Секретом стійкості «Кока-Кола Беверіджиз Україна» у непрості часи стала її висока корпоративна культура. Принцип «одна команда — одна родина» об'єднує всіх співробітників, навіть тих, хто не знайомий один з одним. Підтримка та допомога — це не просто слова для «Кока-Кола Беверіджиз Україна». З перших днів війни працівники компанії у центральних і західних областях України створили 12 Coca-Cola Care-центрів/центрів підтримки, які надавали допомогу в евакуації робітників та їхніх сімей.

Пріоритетом HR-політики компанії є безпека та підтримка людей. «Кока-Кола Беверіджиз Україна» забезпечила:

- терміновий доступ до коштів фонду допомоги працівникам Coca-Cola у разі надзвичайних ситуацій;
- виплату заробітної плати авансом у повному обсязі протягом декількох місяців;
- додаткову матеріальну підтримку мобілізованим, постраждалим і переміщеним особам;
- допомогу в розміщенні тих, хто тимчасово виїхав за кордон (Пинтя, 2022).

Компанія не забуває про ментальну підтримку та постійну комунікацію всередині колективу. Кожен працівник може безкоштовно отримати психологічну та юридичну допомогу.

Усвідомлення спільної мети — це потужний фактор, який згуртовує команду, підсилює відданість справі та забезпечує високу мотивацію.

«Кока-Кола Беверіджиз Україна» чітко окреслила свою мету: наполеглива праця, відновлення країни та допомога бізнес-середовищу. Цей орієнтир об'єднує зусилля команди та надихає на досягнення кращих результатів (Пинтя, 2022).

Досвід Кернел. Компанія Кернел — це найбільший в Україні виробник та експортер зернових. Забезпечує 8% обсягу світового експорту соняшникової олії. Компанія є ключовим постачальником сільськогосподарської продукції з регіону Чорноморського басейну на світові ринки (Кернел, 2024).

Після повномасштабного російського вторгнення компанія Кернел стикнулася із логістичними проблемами. Війна в Україні та блокування портів поставили перед компанією Кернел складне завдання: як експортувати 99% своєї продукції, коли морський шлях закритий. Підприємство не здавалося. У перші місяці війни компанія зуміла переорієнтувати міжнародні відвантаження на залізницю, автотранспорт та річку.

Зміна логістики змусила Кернел переглянути свою структуру експорту. Компанія почала більше експортувати зернових та олійних культур, а також зменшила експорт продуктів з високою доданою вартістю. Завдяки своїй стійкості й адаптивності компанія зуміла зберегти свою експортну діяльність (Інформація, 2024).

Одна з найпотужніших програм підприємства називається *Kernel Growth* (Програма, 2023), що запрацювала у 2021 році, попри пандемію. Перша група учасників, понад 40 фахівців з різних напрямків діяльності та куточків країни, розпочала шлях до нового рівня управлінської майстерності спільно з професорами Києво-Могилянської бізнес-школи.

Програма *Kernel Growth* — це всебічне розширення меж (як особистих, так і професійних). Вона надає доступ до знань та інструментів, які неможливо знайти у вільному доступі. Головна цінність програми полягає в розвитку потужного кадрового резерву не під конкретну позицію, а в розкритті управлінського потенціалу фахівців за всіма напрямками (Програма, 2023).

У 2023 році програма *Kernel Growth* адаптувалась до нових реалій воєнного часу. Зміни вносилися з урахуванням навичок, необхідних для сильних лідерів, здатних забезпечувати досягнення стратегічних цілей компанії (Програма, 2023).

Компанія Кернел успішно забезпечила житлом та роботою своїх співробітників, які евакуювалися з тимчасово окупованих територій або потенційно небезпечних зон. Спільно з юридичним департаментом та відділом адміністративної підтримки були розроблені рекомендації щодо безпечних маршрутів евакуації з окупованих територій на підконтрольні.

Навчання персоналу за професійними напрямами та формування кадрового резерву, що активно розвивалося в мирний час, відіграло важливу роль під час війни. Завдяки поглибленому вивченню технологічних процесів і програмам обміну персоналом компанія змогла підготувати універсальних фахівців, готових замінити колег у критичних обставинах (Виклики, 2024).

Досвід Данон. Компанія Данон — це провідна міжнародна компанія з виробництва продуктів харчування, яка працює в 130 країнах світу. Її місія полягає в тому, щоб нести здоров'я через корисні продукти харчування якомога більшої кількості людей у світі. В Україні компанія Данон оголосила про запуск

нового бренду з виробництва традиційних молочних продуктів під назвою «Просто Наше» (Данон, 2024).

Після повномасштабного російського вторгнення компанія Данон, як і інші, змушена була посилити свою діяльність щодо збереження персоналу. Зіткнувшись з потребою реструктуризації персоналу, компанія Данон в Україні вирішила не залучати зовнішні ресурси, а зосередитися на розвитку внутрішніх резервів. Цей сміливий крок виявився надзвичайно вдалим.

Замість традиційного рекрутингу Данон впровадила систему внутрішнього хантінгу. Це дало змогу:

- швидко знаходити кандидатів на вакантні посади;
- зменшити стрес для співробітників, адже вони не виходили за межі знайомого їм середовища;
- забезпечити швидку адаптацію та навчання нового персоналу.

Результати реструктуризації вражають:

- 100% закриття нових кадрових потреб;
- збереження всіх робочих місць;
- 100% гарантування соціальних гарантій для всіх працівників.

Данон в Україні довела, що талант-менеджмент може бути не лише ефективною альтернативою традиційному рекрутингу, але й потужним інструментом реструктуризації.

Важливо зазначити, що реструктуризація не призвела до скорочення робочих місць, соціальні гарантії для співробітників збережені, нові кадрові потреби задоволені за рахунок внутрішніх ресурсів, загальний фонд оплати праці не збільшився (Талант, 2023).

Аналіз діяльності всіх цих компаній дає змогу надати рекомендації щодо збереження персоналу на підприємстві:

1. Фінансова підтримка. Людям важливо бути впевненим у тому, що певного числа повинна бути зарплата. Крім того, для мотивації та збільшення продуктивності варто виплачувати премії та надбавки.

2. Безпека. Сюди входить евакуація з окупованих територій, надання житла, забезпечення певних умов на виробництві під час повітряних тривог.

3. Психологічна допомога. Війна непередбачувана. Багато людей помирають, рідним тяжко прийняти той факт, що людини не стало. У результаті депресія, почуття безвиході, апатія. Тож важливою є організація роботи психолога, який зможе швидше допомогти прийняти цей факт і повернутись на роботу.

4. Збереження команди. Ця рекомендація передбачає організацію волонтерської діяльності, створення нових вакансій для тих, хто втратив роботу. Розробка програми підвищення кваліфікації та перекваліфікації.

5. Допомога не тільки співробітникам, а й людям, які її потребують. Гуманітарна допомога та забезпечення іншими необхідними ресурсами людей, які постраждали від війни, співпраця з міжнародними організаціями з надання допомоги.

6. Відкритість компанії перед працівниками, зробити так, аби співробітники цінували та розуміли дії компанії.

Висновки

Збереження кваліфікованого персоналу — це запорука успішного функціонування та стратегічного розвитку підприємств харчової промисловості. Дослідження прикладів компаній МХП, Нестле, Кока-Кола, Кернел, Данон, які під час російського вторгнення зберігають свої команди, забезпечують безперебійну роботу й отримують економічний результат є цікавим і цінним для решти підприємств галузі. Пріоритетами всіх цих компаній стали клієнтоцентричність; зворотний зв'язок від трудових колективів, партнерів і споживачів для адаптування до нових запитів і потреб; забезпечення вимог продовольчої безпеки в країні.

Перспективою подальших досліджень є розроблення узагальненої програми заходів щодо розвитку персоналу під час війни компаній харчової промисловості, враховуючи специфіку й особливості функціонування сьогодення.

Література

Ангел, Є. (2022). Харчова промисловість: апетит хороший, але є над чим працювати. Взято з: <https://zn.ua/ukr/macrolevel/kharchova-promislovist-apatit-khoroshij-ale-je-nad-chim-pratsjuvati.html>.

Бойченко, О. (2023). Підтримка ветеранського бізнесу, створення нових робочих місць. Як МХП адаптують ветеранів. Взято з: https://forbes.ua/subscribe?utm_source=header-button&utm_medium=red-button&utm_campaign=red-button&utm_id=site-button-header.

Булах, А. (2023). Розвиток команди МХП під час війни: зберегти ключові принципи реагувати на нові потреби. Взято з: <https://forbes.ua/company/rozvitok-komandi-pid-chas-viyni-zberegti-klyuchovi-printsipi-reaguvati-na-novi-potrebi-20042023-13100>.

Виклики часу: як HR-команда зберігає кадровий потенціал Kernel (2024). Взято з: <https://career.kernel.ua/blog-kompaniyi/vyklyky-chasu-yak-hr-komanda-zberigaye-kadrovij-potentsial-kernel/>.

Голубнича, Н. (2022). HR на війні. Як компанії з різних галузей піклувалися про співробітників. Дослідження. Взято з: <https://forbes.ua/inside/hr-na-viyni-yak-kompanii-z-riznikh-galuzey-piklualisya-pro-spivrobotnikiv-doslidzhennya-30062022-6878>.

Громова, А. (2024). Як побудувати систему особистого кар'єрного зростання у великій компанії. Взято з: <https://biz.nv.ua/ukr/bizinterview/osobistiy-rozvitok-ta-osvita-dlya-uspishnoji-kar'yeri-praktichni-rekomendaciji-50386257.html>.

Гуманітарна і фінансова допомога, підтримка громад і відновлення інфраструктури. Як компанія «Кока-Кола» підтримує Україну під час війни. (2023). Взято з: <https://forbes.ua/company/gumanitarna-i-finanova-dopomoga-pidtrimka-gromad-i-vidnovlennya-infrastrukturi-yak-kompaniya-koka-kola-pidtrimue-ukrainu-pid-chas-viyni-28122023-18171>.

Дзанеллі, А. (2023). Стабільність у скрутні часи. Як Nestlé будує в Україні нові фабрики та підтримує людей. Взято з: <https://forbes.ua/company/stabilnist-u-skrutni-chasi-yak-nestle-budue-v-ukraini-novi-fabriki-ta-pidtrimue-lyudey-31082023-15611>.

Інформація про Kernel. (2024). Взято з: <https://forbes.ua/profile/kernel-220>.

Кареліна, П. (2022). Внутрішня сила: як в Nestle утримують таланти, перенавчають фахівців та інвестують у майбутнє. Взято з: <https://delo.ua/business/vnutrisnya-sila-yak-v-nestle-utrimuyut-talanti-perenavchayut-faxivciv-ta-investuyut-u-maibutnje-405585/>.

Кареліна, П. (2023). Ми прагнемо дати команді відчуття впевненості в умовах невизначеності. Взято з: <https://forbes.ua/company/mi-pragnemo-dati-komandi-vidchuttya-vpevnenosti-v-umovakh-neviznachenosti-hr-direktorka-ukrainskogo-nestle-rozpovila-yak-zminilasya-kadrova-politika-kompanii-za-ostanniy-rik-21042023-13095>.

Куделя, В. І., Яковенко, В. Г. Особливості управління персоналом в умовах воєнного стану. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2023. №81—82, С. 290—297. DOI: <https://doi.org/10.18664/btie.81-82.287264>.

Морозов, Д. (2022). Трансформація компанії надто фундаментальна, щоб війна з росією могла зупинити цей процес. Як працює МХП під час війни. Взято з: <https://forbes.ua/company/transformatiya-kompanii-nadto-fundamentalna-shchob-viyna-z-rosieyu-mogla-zupiniti-tsey-pratsyue-mkhp-pid-chas-viyni-26122022-10578>.

Пинтя, Н. (2022). Безпека та підтримка. Як стратегія людиноцентричності допомогла «Кока-Кола Беверіджиз Україна» відновити виробництво. Взято з: <https://delo.ua/business/bezpeka-ta-pidtrimka-yak-strategiya-lyudinocentricnosti-dopomogla-koka-kola-beveridziz-ukrayina-vidnoviti-virobnictvo-405362/>.

Програма Kernel Growth — рушійна сила розвитку майбутніх лідерів. (2024). Взято з: <https://career.kernel.ua/blog-kompaniyyi/programa-kernel-growth-rushijna-syla-rozvytku-majbutnih-lideriv/>.

Пшик-Ковальська, О. О., Ковальський, О. І. (2022). Особливості управління персоналом в умовах воєнного стану. *Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку*. Випуск 4. № 2. С. 88—93. URL: <https://doi.org/10.23939/smeu2022.02.088>.

Талант-менеджмент, внутрішній хантінг та навчання — досвід успішної релокації від Данон в Україні. (2022). Взято з: <https://delo.ua/business/talant-menedzment-vnutrisnii-xanting-ta-navcannya-dosvid-uspisnoyi-relokaciyi-vid-danon-v-ukrayini-405367/>.

Хлебнікова, Т., Темченко, О., & Білінська, О. (2023). Ефективність системи управління персоналом в умовах військових дій. *Економіка та суспільство*, (50). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-50-66>.

Череп, О., Калужна, Ю., Михайліченко, Л. Особливості управління персоналом в умовах воєнного стану в Україні. (2023). *Економіка та суспільство*. Випуск 48. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-48-24>.

Moody, K. (2017). The world is changing: Why the contingent work force isn't going away. HR Dive. Взято з: <https://www.hrdiver.com/news/the-world-is-changing-why-the-contingent-workforce-isntgoing-away/442231>.

Shertzer, Y. H. (2024). Opinion HR under fire—The role of HR in war time. *Resources Management and Services*, 6(2), 3409. <https://doi.org/10.18282/hrms.v6i2.3409>.

CONDITION AND DEVELOPMENT TRENDS OF THE DAIRY INDUSTRY IN UKRAINE

A. Harastovska, O. Pietukhova

National University of Food Technologies

Key words:

*Dairy industry
Milk
Dairy products
Implementation
Production
Influencing factors
Quality*

Article history:

Received 09.05.2024
Received in revised form
24.05.2024
Accepted 11.06.2024

Corresponding author:

O. Pietukhova

E-mail:

ompetukhova@ukr.net

Citation: Гарастовська А. В., Петухова О. М. (2024). Стан і тенденції розвитку молочної галузі України. *Наукові праці НУХТ*, 30(3), 48—60.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-6

ABSTRACT

The article examines the current state of the dairy industry in Ukraine, examines its development trends. An analysis of the main indicators of dairy farming in the period 2000—2023 was carried out, taking into account the COVID-19 pandemic, quarantine measures, the introduction of martial law throughout the territory of Ukraine, the temporary occupation of certain eastern regions and the conduct of active hostilities. The main indicators of Ukraine's foreign trade in milk and dairy products, the trend of their change, were studied. The leading factors influencing the dairy industry are highlighted. The main indicators of Ukraine's foreign trade in milk and dairy products, the trend of their change, were studied. The opinion of experts and analysts regarding the decrease in the number of cow herds and production volumes during 2000—2023 was analyzed. The key factors of the successful experience of the leading European countries in the dairy industry are considered. The results were obtained regarding the presence of rather sharp competition between enterprises on the domestic market of dairy products; a decrease in the production of dairy products is accompanied by an increase in the price, which is caused by a decrease in the amount of raw materials and an increase in their cost. For the stable development of the dairy industry, it is necessary to use the experience of European countries regarding state support for the industry and the development of interaction between producers of raw materials, processors and the state. Based on the analysis, it was concluded that the formation of an appropriate complex aimed at the development of the dairy industry under the conditions of state support and necessary financing will provide a fundamental basis in the future for a competitive level on international markets.

СТАН І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

А. В. Гарастовська, О. М. Пстухова

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено сучасний стан молочної галузі України, розглянуто основні тенденції її розвитку. Проаналізовано наукові напрацювання вітчизняних вчених-економістів щодо стану та функціонування молочної галузі в цілому з майбутніми перспективами її розвитку. Встановлено, що проблематика сучасного стану молокопереробної промисловості активно висвітлюється не тільки міжнародними, а й галузевими громадськими організаціями.

Проведено аналіз основних показників розвитку молочного скотарства в період 2000—2023 рр. з огляду на пандемію COVID-19, карантинні заходи, введення воєнного стану по всій території України, тимчасову окупацію певних східних регіонів та ведення активних бойових дій, а також зовнішньої торгівлі України молоком і молочними продуктами, зокрема проаналізовано динаміку цін на молоко. Виділено провідні фактори, що впливають на молочну галузь.

Визначено основні проблеми функціонування молокопереробної промисловості в Україні, а також головні фактори впливу на її розвиток і, відповідно, запропоновано ефективні шляхи вирішення. Узагальнено думки експертів та аналітиків щодо зменшення кількості поголів'я корів та обсягів виробництва впродовж 2000—2023 років. Визначено ключові фактори успішного досвіду провідних європейських країн у молочної індустрії. З'ясовано, що скорочення виробництва молочної продукції супроводжується зростанням ціни, що пояснюється зменшенням кількості сировини та зростанням її вартості. Для стабільного розвитку молочної галузі необхідно використовувати досвід європейських країн щодо державної підтримки галузі та розвитку взаємодії виробників сировини, переробників і держави. Зроблено висновок, що формування відповідного комплексу, спрямованого на розвиток молочної промисловості, за умов державної підтримки та необхідного фінансування в перспективі забезпечить фундаментальну основу для конкурентоспроможного рівня на міжнародних ринках.

Ключові слова: *молочна галузь, молоко, молочна продукція, реалізація, виробництво, чинники впливу, якість.*

Постановка проблеми. В сучасних умовах господарювання молочна галузь посідає провідне місце в агропромисловому комплексі України, забезпечуючи населення життєво необхідною молочною продукцією. Проте протягом останніх років спостерігається поступове зменшення виробництва цієї продукції, спричинене впливом різноманітних факторів і чинників. Власне, саме для збільшення рівня виробництва та подолання тенденції до спаду доцільно провести детальне дослідження сучасного стану виробництва й реалізації продукції молочної галузі в розрізі областей та запропонувати необхідні заходи для покращення кризової ситуації, що склалася.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасну проблематику стану молочної галузі активно висвітлюють вітчизняні та зарубіжні вчені у своїх наукових напрацюваннях. Так, у працях (Овсієнко, 2010; Петухова, 2016; Антощенкова, 2020; Карпенко, 2020; Місюк, & Місько, 2021; Поперечний, & Саламін, 2022; Михайленко, 2022) досліджуються стан і функціонування молочної промисловості з подальшими перспективами розвитку. Дослідники (Мостенська, Драган, & Суха, 2010; Скопенко, 2011; Мостенська, & Сичевський, 2013; Пономаренко, 2015) виокремлюють основні чинники впливу на молочну індустрію та її розвиток. Окрім того, ця проблематика активно висвітлюється галузевими громадськими організаціями (Асоціації виробників молока (АВМ), 2023; Спілка молочних підприємств України, 2023) тощо. Незважаючи на чималу кількість науково-економічних праць, присвячених дослідженню стану молочної галузі України та проблем її розвитку, значна кількість питань потребує поглибленого аналізу та детального висвітлення з визначенням подальших перспектив і пропозицій.

Мета досліджень: розгляд і аналіз стану молочної галузі України в умовах євроінтеграції, виокремлення тенденцій розвитку (негативних і позитивних) галузі, дослідження проблематики та визначення перспектив її розвитку.

Матеріали і методи. Дослідження виконано за даними Державної служби статистики України 2010—2023 років. Для ідентифікації проблем розвитку сучасної молочної галузі та визначення тенденцій змін використано загальнонаукові методи пізнання: порівняння, аналізу і синтезу, узагальнення.

Викладення основних результатів дослідження. Молочна галузь України за сучасних умов господарювання перебуває в кризовому стані. Дослідження цієї проблематики набуває активного відображення в провідних вітчизняних виданнях, працях вчених, соціальних мережах, також активно обговорюється провідними українськими та зарубіжними експертами на економічних форумах, платформах. Кожен з них виділяє велику кількість чинників впливу на розвиток галузі, виокремлюючи карантин і режим надзвичайної ситуації у зв'язку з пандемією COVID-19, а також запровадження воєнного стану по всій території України та активні бойові дії на частині території. Для більш детального формування комплексу факторів впливу простежимо динаміку показників молочного скотарства з 2000 р. (табл. 1).

*Таблиця 1. Динаміка показників молочного скотарства за 2000—2023 рр.**

Роки	Поголів'я корів		Виробництво молока	
	Кількість корів на 1 січня, тис. голів	Темп зростання (до 2000 року), %	Обсяг, тис. т	Темп зростання (до 2000 р.), %
2000	10626,5	100	11248,5	100
2001	9423,7	88,68	11086,0	98,56
2002	9421,1	88,66	11377,6	101,15
2003	9108,4	85,71	11488,2	102,13
2004	7712,1	72,57	11132,8	98,97
2005	6902,9	64,96	10615,4	94,37
2006	6514,1	61,30	10381,5	92,29
2007	6175,4	58,11	10280,5	91,39

Продовження таблиці 1

2008	5490,9	51,67	10064,0	89,47
2009	5079,0	47,80	9663,2	85,91
2010	4826,7	45,42	9263,6	82,35
2011	4494,4	42,29	8713,9	77,47
2012	4425,8	41,65	7767,7	69,06
2013	4645,9	43,72	11248,5	100,00
2014	4534,0	42,67	11086,0	98,56
2015	3884,0	36,55	11377,6	101,15
2016	3750,3	35,29	11488,2	102,13
2017	3682,3	34,65	11132,8	98,97
2018	3530,8	33,23	10615,4	94,37
2019	3332,9	31,36	10381,5	92,29
2020	3092,0	29,10	10280,5	91,39
2021	2874,0	27,05	10064,0	89,47
2022	2644,0	24,88	9663,2	85,91
2023 ²	2307,1	21,71	н.д.	-

**Побудовано авторами за даними (Державна служба статистики України, 2023).*

***Дані в табл. 1 за 2014—2023 рр. наведено без урахування тимчасово окупованих територій та частини території, на яких ведуться бойові дії.*

Дані табл. 1 свідчать про досить стрімке зменшення поголів'я корів. Так, на початок 2023 р. порівняно з 2000 р. поголів'я корів зменшилося у 4,6 раза. Аналізуючи довоєнний період, також наявне суттєве зменшення у 2021 р. порівняно з 2000 р. — у 3,6 раза.

За даними (Державна служба статистики України, 2023) станом на 1 січня 2023 року лідерами за кількістю поголів'я корів є Хмельницька область (122,3 тис. голів), Полтавська (98,1 тис. голів), Вінницька (97 тис. голів) і Тернопільська (84,2 тис. голів) області. При цьому порівняно з 2022 р. у зазначених областях прослідковується часткова тенденція до зменшення: Хмельницька — на 0,6%, Полтавська — на 4,1%, Вінницька — на 7,4%, Тернопільська — на 2,2%. У свою чергу найменше поголів'я корів на 1 січня 2023 року сконцентровано в таких областях: Донецька (4,7 тис. голів), Херсонська (4,8 тис. голів), Запорізька (9,4 тис. голів) та Луганська (10,7 тис. голів). Порівняно з 2022 р. у цих областях спостерігається вкрай негативна тенденція до зменшення: Донецька — на 80,2%, Херсонська — 87%, Запорізька — 67,1% та Луганська — 36,1%. Така тенденція насамперед пояснюється тим, що зазначені регіони частково опинилися в окупації, а в деяких тривають активні бойові дії через повномасштабне вторгнення росії.

Аналітик Асоціації виробників молока Георгій Кухалейшвілі вважає, що «кількість тварин продовжує скорочуватися через негативні наслідки війни для тваринництва України. Типовою ситуацією для прифронтових регіонів є загибель певної кількості тварин внаслідок обстрілів російських окупантів» (Кухалейшвілі, 2023).

Попри досить суттєве зниження поголів'я корів обсяги виробництва молока у 2013—2021 рр. не зазнали великого зниження, а коливались у межах

11248,5—10064,0 тис. тонн. Така тенденція обумовлена зростанням продуктивності корів завдяки селекційним досягненням у тваринництві, а також інтенсифікацією виробництва. При цьому за даними Державної служби статистики України у 2022 р. спостерігається зниження продуктивності корів, спричинене періодом дії воєнного стану. Так області, де виробляли 42,3% валу молока, потрапили в зону бойових дій або ж в окупацію. Найбільшу частку молока раніше давали «гарячі точки» лютого—березня 2022 р. — Чернігівська область (8,9% всього промислового молока, тобто такого, що надходить на переробку від с/г підприємств), Харківська (8,9%), Київська (8,2%), Сумська (5,9%) та Житомирська (4,3%) області. Відповідно, в більшості цих регіонів продуктивність корів знизилася на 15—70%.

Аналітичне агентство ІНФАГРО відображає динаміку виробництва сирого молока в 2021—2023 рр. по місяцях (рис. 1). В період січня—лютого помітно явне скорочення виробництва, починаючи з 2022 року. В березні ситуація трішки покращилася, і виробництво в 2023 р. порівняно з 2022 р. зросло на 4,5 %, а в квітні лише на 1,4%. При цьому, якщо порівняти з 2021 р. прослідковується суттєве зменшення по всіх місяцях. Аналізуючи травень 2022 р. та 2023 р., скорочення виробництва незначне, всього лише на 0,2%. У період червня знову прослідковується невелике зростання в 2023 р. — на 0,8%, а в липні — на 2%. У серпні 2021 р. виробництво становить 845 тис. т, а в серпні 2023 р. — 615 тис. т, зменшення відбулося на 27,2%, при цьому порівняно із серпнем 2022 р. зменшення склало 13,4%. Зазначимо, що при аналізі також потрібно враховувати сезонність виробництва, повномасштабне вторгнення та часткову окупацію регіонів.

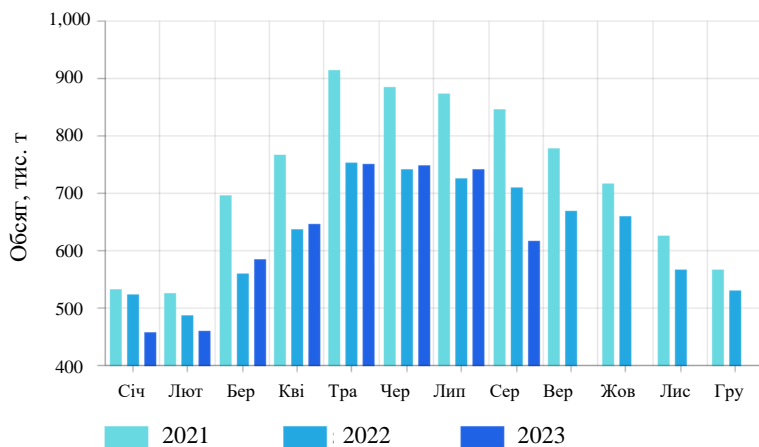


Рис. 1. Виробництво сирого молока у 2021—2023 рр., побудовано авторами за даними (Аналітичне агентство ІНФАГРО, 2023)

Учасники Спілки молочних підприємств вважають, що наявна тенденція суттєвого зменшення виробництва молока буде продовжуватися, якщо держава не надаватиме необхідну підтримку молочній галузі. Водночас голова Спілки молочних підприємств України Вадим Чагаровський не виключає, «що до 2030 року цілком можливо наростити переробку до 6 млн т молока на рік, тобто фактично за 8 років збільшити її вдвічі» (Чагаровський, 2023).

Аналіз показників зовнішньої торгівлі України молоком і молочними продуктами наведено в табл. 2. Варто відзначити, що позитивне сальдо між експортом та імпортом молочної продукції (зовнішньоекономічний баланс) є досить суттєвим і важливим показником ефективної діяльності молочної галузі.

Таблиця 2. Основні показники зовнішньої торгівлі України молоком і молочними продуктами у 2010—2023 рр., тис. дол. США*

Показники	Експорт	Темп зміни (до 2010 року), %	Імпорт	Темп зміни (до 2010 року), %	Сальдо
2010	648786,6	100,00	135438,8	100,00	513347,8
2011	703757,6	108,47	150361,9	111,02	553395,7
2012	612398,0	94,39	196435,9	145,04	415962,1
2013	691739,5	106,62	262567,0	193,86	429172,5
2014	575431,0	88,69	185801,6	137,18	389629,4
2015	386477,3	59,57	79777,4	58,90	306699,9
2016	330521,4	50,94	59489,5	43,92	271031,9
2017	494207,3	76,17	84884,5	62,67	409322,8
2018	480947,4	74,13	106458,0	78,60	374489,4
2019	453877,2	69,96	169492,1	125,14	284385,1
2020	426541,7	65,74	308396,9	227,70	118144,8
2021	378473,9	58,34	384535,4	283,92	-6061,5
2022	452080,0	69,68	248225,9	183,28	203854,1
2023	270802,3	41,74	178432,3	131,74	92370

* Розраховано авторами за даними (Державна служба статистики України, 2023).

Динаміку і тенденції зміни основних показників зовнішньої торгівлі України молоком і молочними продуктами можна наочно прослідкувати за даними, наведеними на рис. 2.

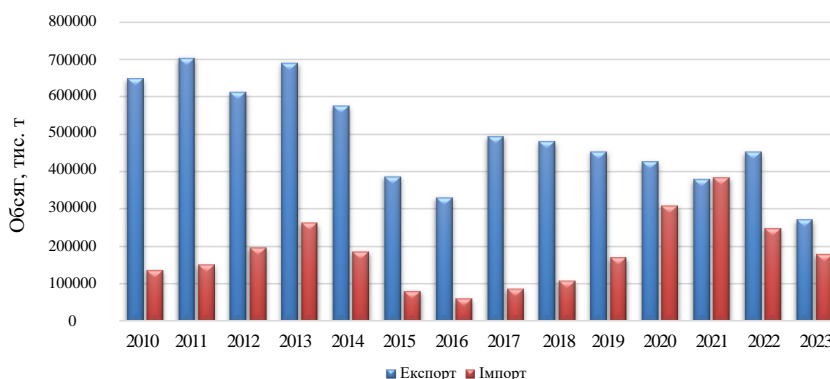


Рис. 2. Динаміка основних показників зовнішньої торгівлі України молоком і молочними продуктами у 2010—2023 рр., тис. дол. США, побудовано авторами за даними (Державна служба статистики України, 2023)

Зовнішньоекономічний баланс торгівлі молоком і молочними продуктами залишається частково позитивним до 2020 року. При цьому наявна тенденція до

зменшення експорту та до збільшення імпорту. В 2021 р. імпорт суттєво переважає над експортом молочної продукції, як результат, від'ємне сальдо. Так, у 2022 р. порівняно з 2010 р. імпорт молочної продукції збільшився майже у 1,8 раза, експорт ж, навпаки, скоротився на 30,3%. Це пояснюється не лише складною економічною та воєнною ситуацією в країні, а також і значним зменшенням експорту молока та молочних продуктів через втрату ринків збуту. У свою чергу, Асоціація виробників молока (Асоціація виробників молока, 2023) пояснює скорочення експорту продукції на 30% у вересні 2023 р. порівняно із серпнем через обмежену пропозицію молока-сировини для вітчизняних підприємств і зниження його переробки на тлі зростання споживчого попиту на внутрішньому ринку.

Варто зазначити, що стрімкий ріст імпорту молочної продукції в 2021 р. продукує збільшення асортименту та покращення її якості даної, хоча при цьому досить негативно позначається саме на рівні конкурентоспроможності українських виробників, які не в змозі конкурувати з іноземними виробниками. Зменшення експорту молочної продукції в 2021 р. свідчить про те, що Україна поступово втрачає досягнуті позиції у світовій торгівлі. При цьому в 2022 р. у зв'язку з вимушеною міграцією населення, спричиненою повномасштабним вторгненням, відбулося стрімке зниження споживання молока та молочної продукції. Як результат, експорт у цей період став порятунком для галузі і зріс порівняно з 2021 р. на 19,4%. Аналітичне агентство ІНФАГРО (Аналітичне агентство ІНФАГРО, 2023), посилаючись на дані опитування експертів молочної галузі, зазначає, що якби у 2022 р. не був налагоджений відповідний рівень експорту, то аграрії й далі масово вирізували б худобу, зменшуючи пропозицію молока.

За даними (Державна служба статистики України, 2023) дозвіл на експорт молочної продукції під час військового стану в Україні отримали 10 підприємств, зокрема: ТОВ «Люстдорф», ТОВ «Органік Мілк», ТОВ «Лубенський молочний завод», ТОВ «Радивилівмолоко», ПрАТ «Тернопільський молокозавод», ПрАТ «Ічнянський молочно-консервний комбінат», ТОВ «ТЕРРАФУД», ТОВ «МК «Галичина» та інші. Слід зазначити, що за період 2000—2023 рр. кількість молокопереробних підприємств Україні скоротилася вдвічі, а порівняно з 1990 р. — втричі. Так, у 2020 р. налічується 192 од. молокопереробних підприємств, в 2021 р. — 178 од., а в 2022 р. — 140 од., з яких 111 — функціонуючих. Керівниця проекту АВМ «Гуртовий збут молока» Олена Жупінас зазначає, що «з початком повномасштабного вторгнення молочно переробка втратила на окупованих і тимчасово окупованих територіях 38 підприємств, таким чином на 1 грудня 2022 року функціонує 73 молокопереробних підприємства» (Територія аграрного бізнесу — ArgoTer, 2023).

За словами Олени Жупінас, «аварійні і стабілізаційні відключення електрики та перехід на генератори стали головним чинником, що підкосив рентабельність у 2022 році» (Територія аграрного бізнесу — ArgoTer, 2023).

На вітчизняному ринку молокопродуктів наявна досить гостра конкуренція між підприємствами, і, як результат, виробництво молочних продуктів зосереджується переважно на великих підприємствах, які забезпечують безупинну модернізацію виробничих процесів, реагуючи на кон'юнктурні зміни ринків. Також великі підприємства постійно збільшують асортимент молочної продукції, особливо безлактозної, пропонуючи унікальну продукцію. При цьому наявне зменшення

виробництва деякої молочної продукції супроводжується зростанням ціни. У свою чергу, це спричинено зменшенням кількості сировини та зростанням вартості на неї.

BrandStory спільно з Органік Стандарт підготували рейтинг «ТОП 3 виробників органічних молочних продуктів». До рейтингу ввійшли такі виробники молочної продукції: ТОВ «Органік мілк» (Житомирська область) (1 місце), «Старий Порицьк» (Волинська область) (2 місце) та ПрАТ «ЕтноПродукт» (Чернігівська область) (3 місце). ТОВ «Органік мілк» — перший завод в Україні, який виробляє тільки органічну молочну продукцію. Також старопорицький сир «Чеддер», який виробляє «Старий Порицьк», отримав бронзову нагороду на ProCheeseAwards 2022 — наймасштабнішому сирному конкурсі в Європі.

Ukrainian Business Award проведено аналіз усіх виробників молока та складено список кращих (табл. 3). Перше почесне місце займає ТОВ «ТЕРРАФУД» ПрАТ «Білоцерківський молочний комбінат» ТМ «Ферма». Друге місце в рейтингу кращих посідає ТОВ «Люстдорф» ТМ «Селянське». Бронзу — третє місце отримує ТОВ «Люстдорф» ТМ «На Здоров'я».

Таблиця 3. Кращі виробники молока за аналітичними даними Ukrainian Business Award, (Ukrainian Business Award, 2023)

Позиція	Виробник	ТМ	Бали
1	ТОВ «ТЕРРАФУД» ПрАТ «Білоцерківський молочний комбінат»	Ферма	57,50
2	ТОВ «Люстдорф»	Селянське	54,33
3	ТОВ «Люстдорф»	На Здоров'я	42,00
4	ТДВ «ЯГОТИНСЬКИЙ МАСЛОЗАВОД»	Яготинське	41,67
5	ТОВ «Молочна компанія «Галичина»; ПрАТ «Галичина»	Галичина	35,67
6	ТОВ «Люстдорф»	Бурьонка	34,67
7	ПрАТ «Тернопільський молокозавод»	Молокія	31,83
8	ТОВ «ТЕРРАФУД» ПрАТ «Білоцерківський молочний комбінат»	Біла Лінія	27,33
9	ПрАТ «КОМБІНАТ»ПРИДНІПРОВСЬКИЙ»	Злагода	25,00
10	ПрАТ «Юрія»	Волошкове Поле	23,17
11	ТОВ «Молочний дім»	Lactel	22,67
12	ПрАТ «Вімм-Білл-Данн Україна»	Слов'яночка	21,83
13	ТОВ «ОРГАНІК МЛІК»	Organic Milk	15,50
14	ФГ «Парубоче»	Своє	5,67
15	ТзОВ «Порицьке»; ТОВ «Старий Порицьк»	Старий Порицьк	5,17

Михайленко О. В. виділяє «низку лідерів, які займають найбільші частки ринку в Україні: ДП «Лакталіс Україна», ТОВ «Данон», ТОВ «Терра Фуд» (частка на ринку складає 9%), ТОВ «Люстдорф» (8%), ПрАТ «Молочний альянс», ПрАТ «Вінницький молочний завод «Рошен» (10%), ТОВ «Група компаній «Альянс», ПАТ «Вімм-Білл-Данн Україна», ПрАТ «Комбінат «Придніпровський», ПрАТ «Тернопільський молокозавод» та багато інших» (Михайленко, 2022).

Майовець Є. Й., Сенишин О. С. та Хіч Р. Я. зазначають, що «для утримання існуючої та збільшення частки ринку велику увагу молокоперобні підприємства

повинні приділяти заходам паблісїті та стимулювання збуту, об'єднавши свої дії в межах реалізації заходів у сфері просування» (Майовець, Сенишин, & Хїч, 2022).

Важливим показником при аналізі стану молочної галузі є динаміка цїн на молочно сировину. За словами Вадима Чагаровського «цїна на молочно сировину є саме тим фундаментальним фактором, який дозволяє вїтчизняним виробникам виходити на свїтові ринки» (Чагаровський В., 2023).

Водночас аналітики фіксують пїдвищення цїн на молоко в Україні. Порівнюючи середню закупівельну цїну молока екстра гатунку станом на 1 жовтня 2023 року (12,75 грн/кг без ПДВ) з 1 жовтня 2022 року, спостерігається зростання на 52 копїйки. Цїни цього гатунку коливаються вїд 11,30 до 13,40 грн/кг без ПДВ. Аналізуючи цїни на молоко вищого гатунку, слїд зазначити, що їх діапазон варїюється вїд 10,00 до 12,50 грн/кг без ПДВ. Середня цїна на молоко першого гатунку, вїдповїдно, склала 11,95 грн/кг без ПДВ.

Георгїй Кухалейшвїлі зазначає, що «закупівельні цїни зростають пїд впливом обмеження пропозицїї молока-сировини на внутрїшньому ринку» (Аналітичний вїддїл АВМ, 2023). На нашу думку, на здоров'яння молока-сировини також вплинуло зростання цїн на енергоносїї.

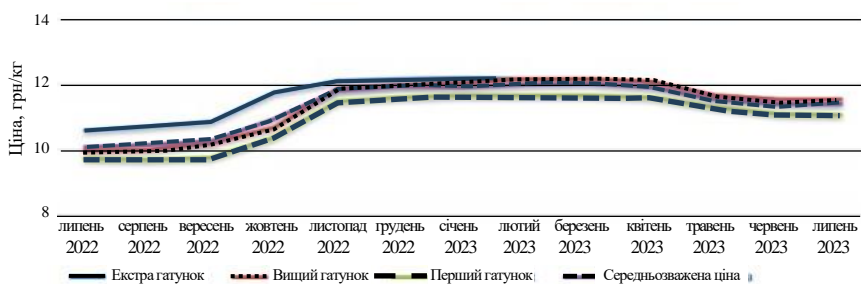


Рис. 3. Динаміка цїн на молоко-сировину в період з липня 2022 р.—липень 2023 р., грн/кг, (Аналітичний вїддїл АВМ, 2023)

Для стабілізацїї динаміки цїн на молоко-сировину Асоцїація виробників молока виступає за прийняття закону «Про внесення змін до Податкового кодексу України щодо зниження ставки податку на додану вартість для молока і молочної продукцїї», що створить правові пїдстави до зниження ставки ПДВ для виробників і переробників молока з 20% до щонайменше 10%, і в результаті посприє зниженню цїн на молочні продукти вїтчизняного виробництва в інтересах українських споживачів (Аналітичний вїддїл АВМ, 2023).

На нашу думку, для стабільного розвитку молочної галузі та молокопереробних пїдприємств необхідно акцентувати увагу саме на дослідженні діяльностї європейських країн та їх досвїду в галузі, який є досить успішним. Яскравими прикладами є Польща, Ірландія, США та інші. У всїх цих країнах молочно галузь має колосальну державну пїдтримку, що є фундаментальною основою для її успішного функцїонування. Зазначимо, що бїльшїсть свїтової молочної галузі (близько 60%) складають молочні кооперативи. Для прикладу, Ірландія експортує 90% молочної продукцїї саме завдяки консолїдацїї кооперативів. Також ірландські виробники мають пїдтримку та необхідний контроль з боку експортного комїтету в рамках державної пїдтримки. У свою чергу, в США функцїонує не тїльки найбїльша

консолідація переробних ферм, а й досить ефективно виконується захист аграрного сектору завдяки державній політиці, тобто на стелажах їхніх магазинів, супермаркетів має бути не більше 2% товарів іноземного походження. При цьому в них активно працює так звана рада з експорту молочної продукції, практично відсутня сезонність виробництва, і, як результат, немає дефіциту. До факторів успіху обох країн можна віднести виробництво молочної продукції з високою доданою вартістю. У 2022 р. Польща знизила ставку ПДВ не тільки на молочні продукти, а й на інші харчові продукти до 0%. В Україні ставка ПДВ становить 20%, та є найвищою порівняно з європейськими країнами. На нашу думку, варто провести уніфіковане дослідження досвіду провідних європейських країн у молочній галузі для визначення стимулюючих факторів впливу, щоб активно розпочати впроваджувати зарубіжний досвід у вітчизняній галузі для її покращення й ефективного розвитку в цілому.

Аналіз стану молочної галузі України дає змогу визначити основні її проблеми, а саме:

- стрімке зменшення поголів'я корів;
- катастрофічне скорочення кількості молокопереробних підприємств;
- зменшення молока-сировини, що спричиняє зростання вартості виробництва і, як результат, — збільшення імпорту;
- зниження внутрішнього споживання через повномасштабне вторгнення, що призвело до зменшення продажів молочної продукції;
- низький рівень технологічного оснащення на виробництві;
- втрата виробничих потужностей на окупованих регіонах;
- скорочення ринків для експорту молочної продукції;
- здорожчання молочної продукції, спричинене зростанням вартості молочної сировини та підвищенням тарифів на електроенергію;
- сертифікація молочної продукції відповідно до стандартів країн ЄС;
- падіння світових і, як наслідок, українських експортних цін на молочні продукти;
- подорожчання логістики та ускладнення з налагодженням ланцюгів логістики;
- низька інвестиційна привабливість через тривалий період окупності цих вкладень;
- відсутність дієвого інструменту кредитування молочної галузі.

Спектр визначених проблем потребує термінового вирішення, що неможливо без державної підтримки та інвестицій. Яскравим прикладом є ухвалення урядом Польщі рішення про зменшення ставки ПДВ на харчові продукти до 0%. Таке рішення поширюється також на продукти, які вже покривалися зниженою ставкою у розмірі 5% ще до ухвалення. При цьому частина визначених проблем є прерогативою вітчизняних підприємств. Так, для підвищення рівня конкурентоспроможності українських виробників на міжнародних ринках потрібно покращити якість продукції відповідно до міжнародних вимог і стандартів. Для успішного вирішення всіх наявних проблем слід досліджувати успішний досвід країн ЄС у молочній галузі та неодмінно втілювати в Україні.

З огляду на визначену проблематику, варто запропонувати такі напрями вирішення існуючих проблем і поліпшення стану молочної галузі України:

- розробити та затвердити Комплексну стратегію розвитку молочної галузі на найближчі 10 років для забезпечення зростання поголів'я корів та збільшення обсягів виробництва, враховуючи міжнародні стандарти якості;

- знизити ставки ПДВ до 10% для стимулювання виробництва молока та молочної продукції в цілому;

- розробити Державну програму підтримки молочної галузі;

- забезпечити можливості отримання грантів для підприємців, які готові створити бізнес у сфері переробки молока;

- створити центри, які будуть відповідати за підготовку висококваліфікованих спеціалістів у молочній галузі;

- забезпечити постійний моніторинг динаміки змін у молочній галузі.

Генеральний директор Асоціації виробників молока (АВМ) Ганна Лавренюк пропонує «запровадити повноцінну національну програму «Шкільне молоко», що включатиме також заходи з просвітництва та популяризації молочних продуктів серед дітей, їхніх батьків і педагогів (а для її часткового фінансування прийняти закон «Про акциз на солодкі газовані напої»)» (AgroPortal, 2022).

Голова Спілки молочних підприємств України Вадим Чагаровський зазначає про «необхідність створення Національного комітету порятунку молочної галузі» (Чагаровський, 2023), головною метою якого є згуртування зусиль професійних організацій для подолання кризи в молочній галузі, забезпечивши її стабільний розвиток. Основні завдання НКПМ трактуються так: вільне пропагування інформації про свою діяльність, звернення з відповідними пропозиціями до органів державної влади, одержування необхідної публічної інформації та інформування громадськості про програми і плани. Комітет діятиме за такими напрямками: розвиток індустріального скотарства; розробка Національної програми розвитку молочної галузі разом з МЕРТ; створення сімейних молочних ферм і подальший їх розвиток; участь у розробках програм державної підтримки та громадський її контроль; розрахунок балансу виробництва та споживання молока; активна боротьба з фальсифікацією молочної продукції; регулювання умов торгівлі на внутрішньому ринку та забезпечення справедливих ринкових умов; захист інтересів вітчизняних виробників на зовнішньому ринку.

Варто розуміти, що молочна галузь потребує колосальної державної підтримки, адже кількість поголів'я корів прямо залежить від неї і, відповідно, виробництво молока-сировини також. Тому галузь має бути в усіх планах відбудови України.

Місюк М. В. та Місько А. М. вважають, що «вирішення проблематики сучасної молочної галузі можливе при дотриманні концепції розвитку молочної галузі (державна підтримка молочної галузі, яка включатиме: державні дотації (повернення спецрежиму ПДВ); використання Аграрного фонду для фінансових і товарних інтервенцій; державні субсидії для стимулювання експорту молочної продукції; державні тендерні закупівлі молочної продукції тільки від виробників; створення фонду підтримки тваринництва)» (Місюк, & Місько, 2021).

Висновки

Дослідивши стан молочної галузі України та проаналізувавши тенденції її розвитку, слід зазначити, що вона перебуває в кризовому стані. Спадні тенденції зумовлені багатьма чинниками впливу (нестабільна економічна ситуація, девальвація гривні, пандемія COVID-19 тощо), які доповнилися в 2022 р. повномасштабним вторгненням та окупацією певних регіонів. Однак молочна галузь частково адаптується і налагоджує експорт молочної продукції. При цьому, на жаль, щорічно зменшується кількість поголів'я корів і, відповідно, скорочуються обсяги виробництва молока-сировини. Через збільшення цін на молочну сировину та її переробку зросли ціни на молочну продукцію загалом. Також жорстку конкуренцію вітчизняній продукції в Україні створили європейські країни, експортуючи свої молочні продукти. Зважаючи на викладене вище, Україна все ж має перспективні можливості для інтенсивного вдосконалення та розвитку молочної галузі. Для цього варто в разі збільшити державну підтримку, розробити відповідну комплексну стратегію розвитку галузі, збільшити її фінансування та врахувати досвід європейських країн, які досягли успіху в цій сфері і, відповідно, застосувати його в Україні. Адже лише завдяки взаємодії всіх сторін (виробників сировини, переробників і держави) можливо досягнути стійкого зростання молочної галузі саме на довгострокову перспективу. При цьому варто акцентувати увагу на маркетингових стратегіях розвитку, адже в сучасних умовах вони є тим інструментарієм, що дасть змогу забезпечити ефективну діяльність вітчизняних підприємств.

Література

- Аналітичне агентство ІНФАГРО (2023). Взято з <https://infagro.com.ua/ua/>.
- Антощенкова, В. В. (2020). Сучасний стан молочного скотарства в Україні. *Український журнал прикладної економіки*, 5 (2), 25—32.
- Асоціації виробників молока (2023). Взято з <https://avm-ua.org/uk>.
- Державна служба статистики України (2023). Взято з <http://ukrstat.gov.ua>.
- Карпенко, В. Л. (2020). Аналіз стану розвитку молокопереробної галузі України. *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*, 5, 90—101.
- Кухалейшвілі, Г. (2023). Аналітичний звіт: Поголів'я ВРХ скоротилося на 7,9% в жовтні 2023 року. Взято з <https://avm-ua.org/uk/post/pogoliva-vrh-skorotilos-na-7-9-v-zovtni-2023-roku>.
- Майовець, Є. Й., Сенишин, О. С., Хіч, Р. Я. (2022). Розвиток молокопереробної галузі України: перспективи стратегічного маркетингового планування. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*, 43, 97—140.
- Михайленко, О. В. (2022). Молочна промисловість України: аналіз стану та перспективи розвитку. *Інфраструктура ринку*, 65, 197—200.
- Міністерство аграрної політики та продовольства України (2023). Взято з: <https://minagro.gov.ua/>.
- Місюк, М. В., Місько, А. М. (2021). Аналіз сучасного стану ринку молокопереробної продукції. *Науковий вісник Одеського національного економічного університету*, 9—10 (286—287), 78—85.
- Молочна галузь України та її майбутнє через 10 років: проблеми, національна програма розвитку та державна підтримка (2020). Взято з <https://agropolit.com/blog/412-molochna-galuz-ukrayini-ta-yiyi-maybutnye-cherез-10-rokiv-problemi-natsionalna-programa-rozvitku-ta-derjavna-pidtrimka>.
- Мостенська, Т. Л., Сичевський, М. П. (2013). Вплив ціни на конкурентоспроможність продукції на ринку молока. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 52, 165—175.

Мостенська, Т. Л., Драган, О. І., Суха, І. В. (2010). *Системне забезпечення конкурентоспроможністю підприємств м'ясної і молочної промисловості України*. Національний університет харчових технологій. Київ: НУХТ, 268.

Овсієнко, Н. В. (2010). *Місія підприємств-виробників молокопереробних товарів*, Підприємницька діяльність в Україні: проблеми розвитку та регулювання: Зб. мат. IV Міжнар. наук.-практ. конф. Київ: МІБО КНЕУ.

Петухова, О. М. (2016). Інвестиційне забезпечення розвитку молокопереробних підприємств. *Науковий економічний журнал «Інтелект XXI»*, 1, 39—45.

Пономаренко, А. С. (2015). Молочна галузь України: проблеми та перспективи розвитку. *Young Scientist*, 12(27), 169—175.

Поперечний, С., Саламін, О. (2022). Актуальні проблеми та перспективи розвитку ринку молока. *Економіка та суспільство*, (37). doi: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-37-32>.

Скопенко, Н. С. (2011). Сучасний стан та тенденції розвитку молочної галузі України. *Продукты & ингредиенты*, 4(79), 36—37.

Спілка молочних підприємств України (2023). Взято з <https://uadairy.com/>.

Тваринництво України 2022 р.: статистичний щорічник (2022). Взято з: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.

Територія аграрного бізнесу — ArgoTer (2023). Підраховали кількість молочних підприємств України, які втратили під час війни. Взято з agroter.com.ua/2023/01/26/pidrahuvaly-kilkist-molochnyh-pidpryemstv-ukrayiny-yaki-vtratyly-pid-chas-vijny/#.

ТОП виробники молока за аналітичними даними Ukrainian Business Award (2023). Взято з <https://uba.top/milk/>.

Аналітичний відділ АВМ (2023). Ціни на молоко-сировину йдуть вгору. Взято з <https://avm-ua.org/uk/post/cini-na-moloko-sirovinu-jdut-vgoru>.

Чагаровський, В. (2023). Три етапи розвитку молочної галузі. Взято з <https://uadairy.com/vadym-chagarovskiy-try-etapy-rozvytku-molochnoyi-galuzi/>.

Щаслива корівка: ТОП 3 виробників органічних молочних продуктів (2023). Взято з <https://brandstory.com.ua/rejtingi/sasliva-korivka-top-3-virobnikiv-organicnih-molocnih-produktiv>.

Як війна—2022 змінює ринок молока в Україні (2022). Взято з <https://zemliak.com/biznes/2590-yak-viyna-2022-zminyuje-rinokmoloka-v-ukrajini>.

AgroPortal (2022). Молочарі назвали кроки, які допоможуть галузі вижити у 2023 році. Взято з groportal.ua/news/zhivotnovodstvo/molochniki-nazvali-kroki-yaki-dopomozhut-molochniy-galuzi-vizhiti-u-2023-roci.

RISKS OF IMPLEMENTING SOCIALLY RESPONSIBLE LABOR PRACTICES IN FOOD INDUSTRY COMPANIES

A. Rudova, N. Skopenko

National University of Food Technologies

Key words:

Human Resources management
Social responsibility
Labor practices
Socially responsible labor practices
Food industry

Article history:

Received 09.05.2024
Received in revised form
24.05.2024
Accepted 10.06.2024

Corresponding author:

A. Rudova

E-mail:

anastasiyarudova39@gmail.com

Citation: Рудова А. Я., Скопенко Н. С. (2024). Ризики при впровадженні соціально-відповідальних трудових практик на підприємствах харчової промисловості. *Наукові праці НУХТ*, 30(3), 61—72.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-7

ABSTRACT

The article is dedicated to exploring the risks associated with implementing socially responsible labor practices in the food industry companies. It was noted that contemporary realities such as military actions, mobilization, population migration, and loss of personnel led to new challenges in human capital management. The main risks significantly affecting the effectiveness of food industry enterprises were identified, including climate change, instability in the political and economic situation in Ukraine, consequences of the COVID-19 pandemic, development of artificial intelligence, and cyberattacks.

The necessity of implementing socially responsible labor practices (SRLP) is argued for the preservation of employees and the creation of adequate working conditions for all groups of workers, including those with disabilities. Examples of measures and initiatives within SRLP aimed at ensuring health, safety, and workplace protection were provided (such as creating ergonomic accessible and/or mobile workstations, providing adaptive work equipment or machinery, modernizing production processes, fostering a trusting atmosphere among all employees and between managers and workers).

Possible risk situations and personnel risks associated with the implementation of socially responsible labor practices were identified: resistance to change, decreased productivity, worsened loyalty, emotional exhaustion and decreased motivation, reputational losses, legal and juridical violations, corporate culture change, refusal to cooperate, financial losses. These personnel risks can be minimized through careful planning, clear communication, proper training, and support from management.

Using PrJSC MHP as an example, the risks and hazardous situations encountered by the company are examined, and ways to overcome them are outlined.

It was argued that the implementation of socially responsible labor practices not only provided significant benefits for the enterprise (promoting increased productivity and employee loyalty, enhancing the company's image and reputation, and ensuring competitive advantages) but also created a fairer and more sustainable society.

РИЗИКИ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ СОЦІАЛЬНО-ВІДПОВІДАЛЬНИХ ТРУДОВИХ ПРАКТИК НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

А. Я. Рудова, Н. С. Скопенко

Національний університет харчових технологій

Стаття присвячена дослідженню ризиків при впровадженні соціально-відповідальних трудових практик на підприємствах харчової промисловості. Відзначено, що реалії сьогодення (військові дії, мобілізація, міграція населення, втрати кадрового складу) призводять до нових викликів у роботі з людським капіталом. Визначено основні ризики, які значною мірою впливають на ефективність діяльності підприємств харчової промисловості: зміна клімату, нестабільність політичної та економічної ситуації в Україні, наслідки пандемії COVID-19, розвиток штучного інтелекту, хакерські атаки.

Аргументовано необхідність запровадження соціально-відповідальних трудових практик (СВТП) з метою збереження працівників і створення належних умов праці для всіх груп робітників, у тому числі з обмеженими можливостями. Наведено приклади заходів та ініціатив в рамках СВТП в напрямку забезпечення здоров'я, охорони праці та безпеки на робочому місці (створення ергономічних доступних та/або мобільних робочих місць, надання адаптивного робочого обладнання або устаткування, модернізація виробничого процесу, створення довірливої атмосфери між усіма працівниками та між керівниками й працівниками).

Визначено можливі ризикові ситуації та кадрові ризики при впровадженні соціально-відповідальних трудових практик: опір змінам, зниження продуктивності, погіршення лояльності, емоційне виснаження та зниження мотивації, репутаційні втрати, правові та юридичні порушення, зміна корпоративної культури, відмова від співпраці, фінансові втрати. Зазначені кадрові ризики можна мінімізувати за допомогою ретельного планування, чіткої комунікації, належної підготовки та підтримки з боку керівництва.

На прикладі ПрАТ «МХП» розглянуто ризики та небезпечні ситуації, з якими зустрічається компанія та означено шляхи їх подолання. Обґрунтовано, що запровадження соціально-відповідальних трудових практик не тільки надає значну кількість переваг для підприємства (сприяє підвищенню продуктивності та лояльності працівників, покращує імідж та репутацію компанії, забезпечує конкурентні переваги), але й створює більш справедливе та стійке суспільство.

Ключові слова: *менеджмент персоналу, соціальна відповідальність, трудові практики, соціально-відповідальні трудові практики, харчова промисловість.*

Постановка проблеми. Сучасні реалії (активні військові дії, мобілізація, міграція тощо) призводять до нових викликів у роботі з людським капіталом. Бізнес в Україні в умовах війни перетворюється на найбільш сучасну модель соціально відповідальної співпраці з суспільством. На вітчизняних підприємствах, в тому числі й у сфері харчової промисловості, набуває популярності впровадження со-

ціально-відповідальних трудових практик (СВТП) — комплексу заходів, спрямованих на забезпечення справедливих і безпечних умов праці, поваги до прав і гідності працівників, відповідальності перед суспільством тощо. Використання СВТП приносить користь підприємству в довгостроковій перспективі, оскільки це сприятиме підвищенню продуктивності та лояльності працівників, покращенню іміджу та репутації компанії, забезпечить конкурентні переваги та створить більш справедливе та стійке суспільство.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання корпоративної соціальної відповідальності (КСВ), їх взаємозв'язку з менеджментом персоналу, стійким розвитком бізнес-організацій, іміджем компаній, сталим розвитком трудових практик ринкових структур досить широко висвітлені в зарубіжних джерелах.

Як зазначають дослідники (Guerci, & Pedrini, 2014), людські ресурси є ключовим елементом у стимулюванні змін до стабільності організацій через впровадження стійких практик, а також задоволення потреб усіх зацікавлених сторін.

Науковці (Herrera, & Herar-Rosas, 2020) у своєму дослідженні проаналізували понад 300 статей Web of Science, щоб виявити наявність високого інтересу до використання корпоративної соціальної відповідальності в менеджменті персоналу та ідентифікувати групи тем, які допоможуть визначити потреби бізнесу та інтегрувати КСВ з HRM. Сучасні зарубіжні дослідження стосуються того, як створити правильний баланс між економічними, соціальними та екологічними цілями в організації (Delmas, & Pekovic, 2018; Barrera-Martinez, López-Fernández, & Romero-Fernández, 2019); як соціально відповідальне управління людськими ресурсами впливає на робочу поведінку співробітників (Shen, & Benson, 2016); екологічного управління людськими ресурсами (SR-HRM), впливу КСВ, HRM і сталого розвитку на бізнес-практику та імідж компанії (Ciocirlan, 2017; Stankevičiūtė, & Savanevičienė, 2018; Kainzbauer, & Rungruang, 2019; Farooq, Farooq, & Cheffi, 2019; Kim, Kim, & Choi, 2019), психологічних основ КСВ (Gond, El Akremi, Swaen, & Babu, 2017). Відзначається вплив SR-HRM на організаційну відданість працівників; сприяння КСВ та сталий розвиток через розвиток персоналу; взаємозв'язок екологічних показників з КСВ та з управлінням персоналом; покращення екологічної поведінки працівників та екологічної ефективності за допомогою SR-HRM.

Вітчизняні науковці досліджують питання формування та реалізації корпоративної соціальної відповідальності в Україні, методичні підходи до оцінки рівня соціальної відповідальності компаній, особливості розвитку соціальної відповідальності під час пандемії і війни (Завадських, Лисак, & Тебенко, 2023; Червінська та ін., 2023; Драган, & Бергер, 2022); соціальної відповідальності як засобу збалансування соціально-трудова відносин, пропонують методологічні та методичні підходи до оцінювання соціальної відповідальності, регулювання ризиків у сфері праці (Грішнова, Міщук, & Олійник, 2014); формування соціально-відповідального менеджменту персоналу на прикладі компаній харчової галузі (Mohilevska, Dragan, & Romanova, 2023), визначають кадрові ризики (Мішина, & Мішин, 2016; Дуднева, 2017; Алькема, & Денис, 2021) та розробляють методики управління HR-ризиками (Управління кадровими ризиками, 2024); розкривають потенції управління людською свідомістю у сфері праці на засадах соціальної відповідальності (Новікова, & Шастун, 2017).

Сучасні вітчизняні дослідження у сфері соціально-відповідальних трудових практик, в основному, зосереджені на їх успішному впровадженні в діяльність підприємства. Так, автори розглядають:

- сучасні соціально-трудові практики підприємств харчової промисловості, визначають рівень відповідності до вимог організації відповідального управління, дотримання прав людини у процесі діяльності, налагодження соціально відповідальних трудових відносин у контексті реалізації завдань концепції соціальної відповідальності ЄС (Березянюк, 2017);

- питання використання соціально-відповідальних трудових практик у контексті працевлаштування; доводять існування зв'язку пріоритетів пошуку роботи з майбутнім предметом праці (Мазник, 2019);

- соціально-відповідальні практики як фактор забезпечення трудових соціально-економічних прав працівників, врахування їх інтересів та надання додаткових соціальних пільг і гарантій шляхом використання нетрадиційних форм зайнятості та створення відповідальних трудових відносин між роботодавцями та працівниками (Березянюк, 2021);

- соціально відповідальні практики, які позитивно впливають на брендінг компаній, репутацію роботодавця та мотивацію працівників; обґрунтовують, що реалізація концепції SR-HRM, яка заснована на інтеграції та врахуванні двосторонніх відносин соціальної відповідальності й управління персоналом, може стати панацеєю від зниження лояльності співробітників до своїх компаній, підвищення рівня робочого стресу та падіння задоволеності співробітників (Харченко, Жун, & Михайлик, 2021).

Враховуючі, що HR-дослідження є ефективним інструментом в управлінні персоналом, який, спираючись на зворотний зв'язок від співробітників та кандидатів, дає змогу будувати здорову корпоративну культуру, привабливий бренд роботодавця, утримувати та мотивувати персонал, а також розуміти кращі шляхи залучення талантів, Gradus Research (Gradus Research, 2023) провели спеціальне дослідження про види, методи і бар'єри щодо досліджень серед керівників та експертів напрямку HR, а також визначили сучасні проблеми у менеджменті персоналу (Управління кадровими ризиками: керівництво для практиків, 2024).

Мета дослідження: визначення ризиків і небезпечних ситуацій, пов'язаних з впровадженням і використанням на підприємствах соціально-відповідальних трудових практик.

Матеріали і методи. Для дослідження були використані загальнонаукові методи аналізу, синтезу, індукції та дедукції, логічного узагальнення. Інформаційним забезпеченням стали відкриті інтернет-джерела, HR-дослідження в Україні, офіційні сайти підприємств, наукові статті з питань соціальної відповідальності, HRM, трудових практик.

Викладення основних результатів дослідження. Бізнес щодня зустрічається з безліччю ризиків і небезпечних ситуацій, спровокованих тими чи іншими діями, залежними від підприємства, так і незалежними від нього. Підприємства харчової промисловості зараз переживають ризики та ризикові ситуації, спричинені змінами клімату, нестабільністю політичної та економічної ситуації в Україні, пандемією COVID-19, розвитком штучного інтелекту та хакерськими атаками. Цей перелік не є остаточним і може бути доповнений іншими аспектами.

Унаслідок повномасштабного вторгнення в Україні сильно порушилась система логістики, що провокує певну складність у ланцюжку поставок. Цей ланцюг у харчовій промисловості може бути складним і багатограним сам по собі, оскільки підприємства співпрацюють з декількома постачальниками сировини, дистрибуторами та роздрібними торговцями. Так, наприклад, на етапі поставки сировини підприємства можуть зіштовхнутись з тим, що сировина не доїхала вчасно (проблеми на дорогах, повітряна тривога), зіпсувалась у процесі поставки (зламався охолоджувач у машині постачальника, аварія), пошкоджена (домішані хімічні або інші домішки) або знищена внаслідок прильоту уламків.

Зміни клімату негативно впливають як на постачання сировини, так і на виробництво та постачання продукції, оскільки зростає частота появи екстремальних погодних явищ (посуха, повінь, урагани), які унеможливають посівну, знищують сировину, залишають худобу без їжі, внаслідок чого скорочуються обсяги виробництва, а попит продовжує збільшуватись.

Хакерські атаки стають все більш серйозною проблемою і для підприємств харчової промисловості, оскільки вони володіють інформацією про свою рецептуру, дані про постачальників, споживачів, про персонал і в цілому про систему управління виробництвом. Використовуючи сучасні технології, можна вивідати цінну інформацію і перепродати компанії-конкуренту або шантажувати на гроші. Окрім цього, однією атакою можна вивести з ладу системи, які призведуть до зупинки виробництва, псування продуктів і сировини, а також значних фінансових і репутаційних втрат.

Унаслідок пандемії COVID-19 та повномасштабного вторгнення в Україні існує тенденція до втрат кадрового складу. Пандемія та військові дії негативно впливають на економіку України, що призводить до скорочення робочих місць у певних місцевостях та браку спеціалістів в інших. Зараз перед українськими підприємствами постає актуальне питання нестачі персоналу та хедхантинг важливих спеціалістів (Три чверті роботодавців відчують дефіцит кадрів в Україні, 2024).

З початком повномасштабного вторгнення з України виїхала значна частка працездатного населення з дітьми, що в майбутньому призведе до старіння населення та нестачі умів. Відзначають, що за кордоном зараз перебуває приблизно 6 млн українців, більшість з них залишиться жити там, певна частка планує повернутись (Сологуб, 2024; Міграційні настрої українців (інфографіка), 2024). Так, компанія Info Sapiens провела опитування респондентів (українських біженців за кордоном), щоб оцінити, хто саме виїхав, куди, скільки та яка частка з них планує повернутись (рис. 1).

Відповідно до цього дослідження можна встановити, що серед молоді більшість прагне повернутись до України, а біженці віком від 35 років більш схильні залишитись за кордоном. Картина може суттєво змінюватись від настроїв українців, від змін у країнах, в яких вони перебувають, та, відповідно, від того, наскільки гостра ситуація в Україні (загострення або послаблення).

Окрім ситуації з міграцією населення, варто зауважити питання мобілізації працівників, їх участь у захисті України та наслідків від цього: втрата кінцівок та/або поява посттравматичного стресового розладу (ПТСР). Окрім військових, з такими проблемами зіштовхнулось і цивільне населення.

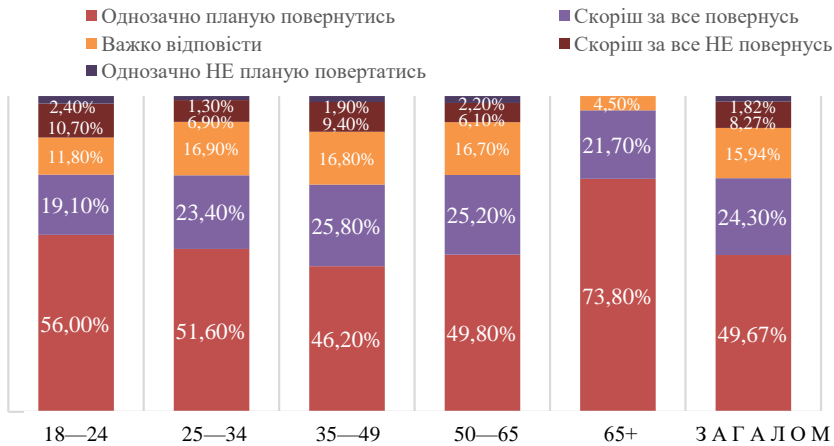


Рис. 1. Плани українських респондентів повернутись до України, розподіл за віком станом на 2023 рік, побудовано авторами на основі (Вишлінський, Михайлишина, Самойлюк, & Томіліна, 2023)

Вітчизняні HR-менеджери виділяють зараз такі гострі проблеми в роботі, як вигорання та втома працівників, складність пошуку спеціалістів за певними напрямками та дефіцит персоналу на ринку (HR-дослідження в Україні, 2023).

На відмінну від інших галузей, більшість працівників харчової промисловості (ХП) безпосередньо залучена до активної роботи на підприємстві і тільки певна частка працівників може працювати віддалено. Отже, підприємства ХП мають зараз активно турбуватись про те, як зберегти своїх працівників та як адаптувати своє підприємство та колектив під роботу з людьми, постраждалими від наслідків війни. Зважаючи на викладене вище, потребують уваги такі напрямки:

- створення доступних робочих місць, мобільних. Цей напрямок передбачає розширення дверей і проходів (для зручності пересування на колісних візках), створення певної регульованої висоти меблів та обладнання відповідно по потреб працівника, обладнання туалетів, кухні/їдальні та встановлення спеціального обладнання (підйомники тощо);

- надання адаптивного робочого обладнання або устаткування. Якщо працівник має проблеми з кінцівками рук, із зором або слухом, підприємство може подбати про забезпечення працівника спеціальними клавіатурами/мишками, програмним забезпеченням для розпізнавання мови або для читання з екрана;

- навчання діючих співробітників, як взаємодіяти, правильно спілкуватись та працювати з працівником, який втратив кінцівку або має ПТСР: які слова можна або не можна казати, як не боятись взаємодії, як допомогти новому працівникові швидше адаптуватись через спілкування з колективом. Цей напрямок передбачає проведення тренінгів з питань інвалідності для всіх працівників, удосконалення політики нетерпимості до дискримінації та заохочення до спілкування та співпраці шляхом командної роботи;

- забезпечення доступності до робочого місця для працівників, які можуть мати певні обмеження в русі. Підприємство може організувати розвозку працівників, або мотивувати працівників з власним автомобілем допомагати колезі;

- облаштування захисних споруд, які одночасно зможуть вміщувати співробітників компанії та мешканців населених пунктів, де підприємство здійснює свою діяльність. Спільне укриття має бути доступним для всіх, хто потребує захисту в сучасних умовах. Також це підвищить рівень безпеки та зміцнить зв'язки між компанією та громадою.

Розглянемо приклад заходів та ініціатив у рамках СВТП, зокрема в напрямку здоров'я, охорони праці та безпеки на робочому місці. Цей напрямок є одним із важливих, оскільки здійснювані ініціативи та практики забезпечать безпечні умови роботи, працівники будуть ознайомлені з правилами безпеки на робочому місці або при роботі з конкретним устаткуванням, також важливим аспектом є запобігання появі професійних захворювань, створення належних умов для роботи працівників з обмеженими можливостями. Керівництво підприємства може запроваджувати такі практики на цьому рівні:

- впроваджувати та дотримуватись стандартів безпеки праці, що включає регулярну перевірку й оновлення устаткування, забезпечення працівників засобами індивідуального захисту та проведення інструктажів з техніки безпеки;

- модернізувати виробничий процес, що включатиме в себе заміну застарілого обладнання на нове та більш безпечне, що впливатиме на рівень шуму, вібрації, запиленості тощо;

- створювати ергономічні робочі місця, це допоможе запобігти травмам, що виникають внаслідок повторюваності рухів, неправильної постави та інших факторів. Наприклад, враховується висота та розташування робочої поверхні відповідно до зросту працівника, використання крісел з ергономічною формою спинки, окрім цього, велике значення приділяється рівню освітлення робочого приміщення (світло падає без відблисків на робочу поверхню, а яскравість має бути такою, щоб працівник чітко бачив свою робочу зону), так само із рівнем шуму тощо;

- проводити попередні та періодичні медичні огляди працівників, що допоможе вчасно виявити та вжити заходів для запобігання появі професійних захворювань або вплинути на перші ознаки їх прояви;

- надавати працівникам доступ до медичної допомоги. Для цього підприємство створює медичний пункт на своїй території або співпрацює з медичними установами;

- проводити інструктажі, навчати правилам особистої гігієни та інформувати працівників про їхні права й обов'язки в галузі безпеки та охорони праці;

- встановити меблі та організувати робочий простір для працівників з обмеженими можливостями;

- залучити психологів для того, щоб сприяти створенню довірливої атмосфери між усіма працівниками. Також фахівці необхідні на підприємстві для своєчасного надання допомоги, якщо людина страждає від ПТСР (щось видало гучний звук — працівник закляк від страху, бо подумав про вибух та інші прояви) та для роботи з іншими потребами працівників;

- створити атмосферу довіри та співпраці між керівниками та працівниками, заохочувати працівників до повідомлення про небезпечні фактори;

- проводити регулярні зустрічі або анкетування для обговорення проблем і потреб працівників у рамках здоров'я, охорони праці та безпеки на робочому місці.

Відповідно до цих практик визначимо кадрові ризики та ризикові ситуації, з якими можливо зіштовхнеться підприємство харчової промисловості під час впровадження СВТП (рис. 2).

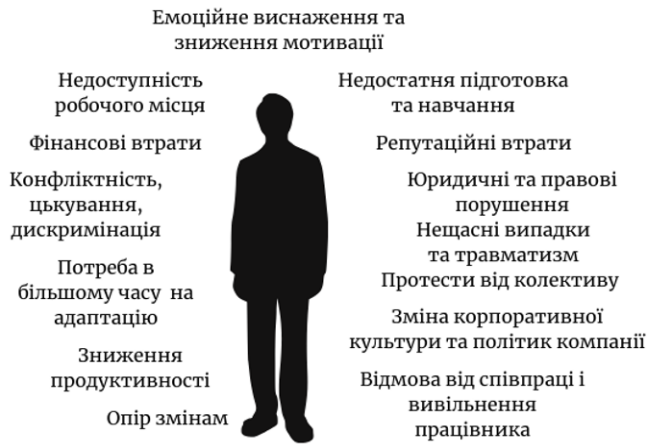


Рис. 2. Можливі ризикові ситуації та кадрові ризики від впровадження СВТП, складено авторами

Опір змінам у працівників може виникати з різних причин, таких як страх невідомого, небажання виходити із зони комфорту та відсутність розуміння, як, наприклад, спілкуватись з людиною, яка має обмежені можливості у пересуванні. Через цей страх деякі працівники можуть боятись взаємодіяти з новим працівником і думати, що вони не такі швидкі, як інші, або будуть недооцінювати їх здібності.

Унаслідок опору змінам у колективі можуть розпочатись протести проти нововведень, внаслідок чого знижується продуктивність праці, а персонал починає негативно ставитися до керівництва компанії. У такому разі можуть розпочатись правові та юридичні порушення, якщо на підприємстві почнуть використовувати неправильні методи для усунення цього «конфлікту». Певна частка працівників може не змиритись з діяльністю керівництва, внаслідок чого вони змінять роботу і почнуть негативно розповідати про свого колишнього роботодавця серед своїх друзів, колег, родини. Такі дії негативно вплинуть на бренд компанії, оскільки колишні працівники своїми розповідями формуватимуть негативний імідж компанії, що призведе до відмови від споживання товарів або послуг.

Знижена мотивація, недостатня підготовка та навчання також можуть спричинити ряд змін у колективі, якщо керівництво не приділяє цьому увагу. Необхідно зауважити, що незадоволений працівник — це неефективний і непродуктивний робітник. Враховуючи брак спеціалістів на ринку праці, необхідно дбати про збереження кадрів.

Також у колективі може існувати атмосфера приниження або цькування працівника з особливостями, оскільки він може бути повільнішим за інших, відрізнятися від них. Тому дуже важливо залучати працівників до командних ігор та роботи із спеціалістами, щоб розвивати вміння правильно спілкуватись з ветеранами, працівниками з ПТСР та обмеженими можливостями.

Окрім цього, можна пов'язати між собою недоступність робочого місця та фінансові витрати. Наприклад, компанія переробляє частину офісу, щоб розширити проходи, встановити нові ліфти, зробити простір зручним для пересування на колісному візку або милицях, встановити нове обладнання. Так, можна натрапити на недобросовісного підрядника або нове робоче місце просто може не підходити під потреби працівника і для нього необхідно додатково вкласти кошти, щоб налаштувати його.

Якщо в колективі існує неформальний лідер, він може налаштувати весь колектив проти змін, що приведе до зниження продуктивності, погіршення атмосфери в колективі, а іноді й до припинення робочих процесів.

Важливо знати, що зазначені кадрові ризики від впровадження СВТП можна мінімізувати за допомогою ретельного планування, чіткої комунікації, належної підготовки та підтримки з боку керівництва.

На прикладі ПрАТ «МХП», одного із найбільших українських виробників та експортерів курятини, розглянемо ризики та ризикові ситуації (рис. 3), з якими зустрічається компанія та шляхами їх подолання.

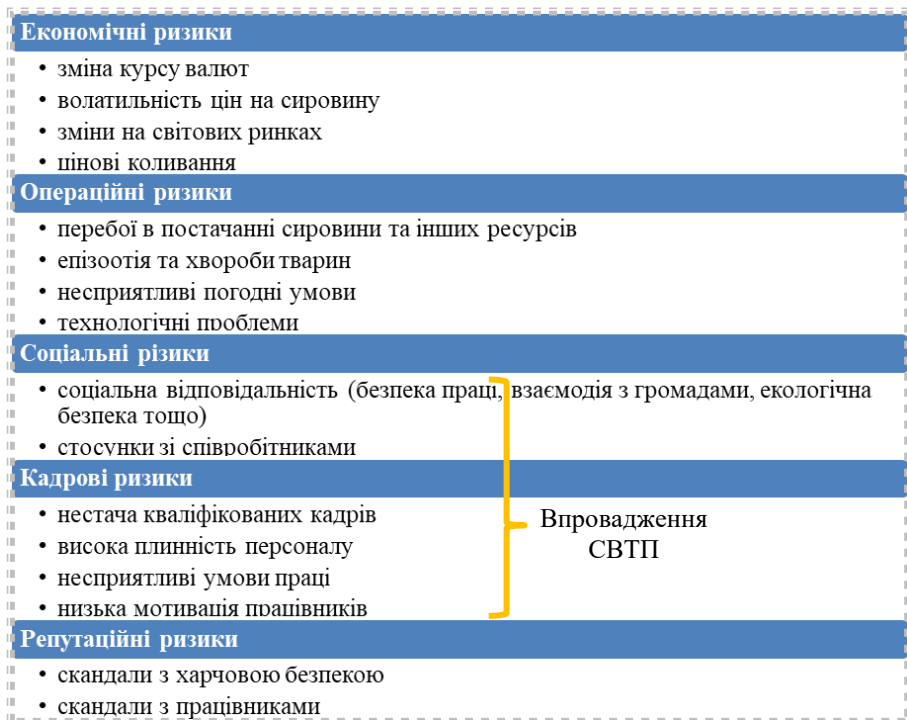


Рис. 3. Ризики та ризикові ситуації в практиці ПрАТ «МХП», складено авторами

Йдеться про соціальні та кадрові ризики, які можуть усунути соціально-відповідальні трудові практики. Наведені ризики та ризикові ситуації в діяльності ПрАТ «МХП» можуть включати й інші аспекти, які будуть впливати на працівників, споживачів, громади та стейкхолдерів підприємства. Всі ризики, з якими зустрічається зараз підприємство, вимагають уваги та відповідальності з боку компанії, яка має спрямувати всі свої дії на їх усунення.

Так, у своїй практиці ПрАТ «МХП» вживає ряд заходів, щоб забезпечити стійкість діяльності та боротися з ризиками. Серед заходів у соціальній і кадровій складовій можна виділити діяльність благодійного фонду «МХП — Громаді», який відіграє важливу роль у розвитку громад і забезпеченні соціальної відповідальності. Проєкти, пов'язані з впровадження СВТП (Благодійний фонд «МХП — Громаді»), 2024; ПрАТ «МХП», 2024):

- підтримка Збройних Сил України. З 2022 р. існує програма «МХП Поруч», яка передбачає індивідуальний супровід і комплексну підтримку військових, ветеранів та їхніх родин. Надається гуманітарна допомога військовим частинам, підтримка лікування та реабілітації військових, надання їм можливості пройти юридичну та психологічну підтримку, соціальна реінтеграція та професійна адаптація до майбутньої роботи;

- підтримка матерів і дітей. Здійснюється різнобічна системна допомога матерям з дітьми, які мали вимушено покинути свій дім або опинились у скрутному становищі;

- продовольча безпека забезпечується шляхом організованої регулярної гуманітарної підтримки населення та захисників України;

- конкурс соціальних ініціатив «Час діяти, Україно!». Передбачає підтримку локальних громадських ініціатив для вирішення конкретних проблем: освіта, охорона здоров'я, інфраструктура, допомога військовим тощо;

- програма лояльності працівників, яка пропонує співробітникам різноманітні пільги та бонуси, такі як додаткове медичне страхування, оплата відпусток, можливість участі в корпоративних заходах тощо;

- програма розвитку лідерів, спрямована на виявлення та розвиток потенційних лідерів серед співробітників компанії. В рамках цього проводяться тренінги, семінари, ділові ігри, що допоможуть працівникам розвинути свої лідерські якості.

І хоч ці практики призначені для досягнення позитивних результатів, впровадження будь-якої програми може супроводжуватись певними ризиками. Так, ПрАТ «МХП» після впровадження цих практик може зіштовхнутись з такими ризиками та ризиковими ситуаціями, як:

- зростання витрат, оскільки реалізація цих програм вимагає значних фінансових ресурсів, інвестицій. Зростання витрат може мати негативний ефект на рентабельність компанії та призвести до скорочення бюджету за іншими напрямками;

- ризик неефективності може виникнути внаслідок того, що неможливо гарантувати 100% успішність програми, деякі з них можуть не досягнути очікуваного результату або спричинити більше витрат, ніж виділено бюджетом. Це може спровокувати втрату довіри з боку стейкхолдерів і вплинути на репутацію ПрАТ «МХП»;

- ризик маніпуляцій може бути спровокований тим, що хтось у компанії або зі стейкхолдерів використовує ці програми у власних інтересах для отримання особистої вигоди;

- ризик загострення соціальних питань може виникнути випадково, оскільки та чи інша програма ненавмисно загострює соціальну проблему;

- опір з боку працівників, оскільки певна частина може не розуміти, навіщо ці програми і чому саме вони мають брати участь в їх реалізації, оскільки це може змінити рівень оплати праці, спровокувати недовіру та змінити звичний спосіб роботи.

Незважаючи на можливі ризики, ПрАТ «МХП» готовий йти на них, оскільки

вважає програми важливими інструментами для розвитку місцевих громад і для підвищення якості життя. Компанія переконана, що ці програми та практики матимуть позитивний ефект у довгостроковій перспективі розвитку бізнесу. Важливо також зазначити, що в компанії активно вживають заходи для мінімізації цих ризиків: проводиться ретельна оцінка програми перед реалізацією, відбувається моніторинг у процесі діяльності та вносяться необхідні корективи.

Висновки

Отже, використання СВТП надає багато переваг для підприємства, проте існування ризиків і різноманітних ризикових ситуацій при впровадженні тих чи інших практик не виключено, як і при використанні будь-яких управлінських інструментів або прийнятті тих чи інших рішень. Важливо ретельно аналізувати можливі кадрові ризики та приділяти увагу їхньому вирішенню, щоб забезпечити ефективне впровадження заходів. З огляду на обмежені можливості деяких працівників, підприємство повинно враховувати індивідуальні потреби та забезпечити адаптовані рішення для кожного працівника.

Перспективами подальших досліджень може бути вивчення зарубіжного досвіду компаній щодо імплементації соціально-відповідальних трудових практик, практик покращення кадрового забезпечення, формування програм з розвитку працівників, стимулювання їх до саморозвитку та покращення навичок і компетенцій.

Література

- Barrena-Martinez, J., López-Fernández, M. & Romero-Fernández, P. M. (2019). The link between socially responsible human resource management and intellectual capital. *Corp Soc. Resp. Environ. Manag.*, 26, 71—81.
- Ciocirlan, C. (2017). Environmental Workplace Behaviors: Definition Matters. *Organ. Environ.*, 30, 51—70.
- Delmas, M. & Pekovic, S. (2018). Organisational Configurations for Sustainability and Employee Productivity: A Qualitative Comparative Analysis Approach. *Bus. Soc.*, 57, 216—251.
- Farooq, M., Farooq, O., & Cheffi, W. (2019). How Do Employees Respond to the CSR Initiatives of their Organisations: Empirical Evidence from Developing Countries. *Sustainability*, 11, 2646.
- Gond, J., El Akremi, A., Swaen, V. & Babu, N. (2017). The psychological microfoundations of corporate social responsibility: A person-centric systematic review. *J. Organ. Behav.*, 38, 225—246.
- Guerci, M. & Pedrini, M. (2014). The consensus between Italian HR and sustainability managers on HR management for sustainability-driven change — Towards «strong» HR management system. *Int. J. Hum. Resour. Manag.*, 25, 1787—1814.
- Herrera, J., & Heras-Rosas, C. (2020). Corporate Social Responsibility and Human Resource Management: Towards Sustainable Business Organizations Sustainability. 12(3). 841. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12030841>.
- HR-дослідження в Україні: досвід, бар'єри та складнощі в people management. (2023). *Gradus Research*. Взято з <https://gradus.app/uk/open-reports/hr-research-in-ukraine-experience-barriers-and-difficulties-in-people-management/>.
- Kainzbauer, A., & Rungtuan, P. (2019). Science Mapping the Knowledge Base on Sustainable Human Resource Management, 1982—2019. *Sustainability*, 11, 3938.
- Kim, Y., Kim, W., Choi, H., & Phetvaroon, K. (2019). The effect of green human resource management on hotel employees' eco-friendly behavior and environmental performance. *Int. J. Hosp. Manag.*, 76, 83—93.
- Mohylevska, O., Dragan, O., Pavlovskiy, S., & Melnyk, N. (2023) Socially responsible personnel management of food industry companies. *International Interdisciplinary Scientific Journal «Expert»*. 12(1). DOI 10.62034/2815-5300/2023-v1-i1-003.

- Shen, J., & Benson, J. (2016). When CSR Is a Social Norm: How Socially Responsible Human Resource Management Affects Employee Work Behavior. *J. Manag.*, 42, 1723—1746.
- Stankevičiūtė, Ž., & Savanevičienė, A. (2018). Designing Sustainable HRM: The Core Characteristics of Emerging Field. *Sustainability*, 10, 4798.
- Алькема, В., & Денис, В. (2021). Управлінський аналіз кадрових ризиків системи управління персоналом в банківських установах. *Вчені записки Університету «КРОК»*, 4(64), 85—95. Взято з <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2021-64-85-95>.
- Березянко, Т. В. (2017). Соціально-трудові практики підприємств харчової промисловості. *Наукові праці НУХТ*, Т. 23(6), 58—67.
- Березянко, Т. В. (2021). Соціально відповідальні трудові практики в нестандартних умовах. *Ефективна економіка*, 8, Взято з http://www.economy.nauka.com.ua/pdf/8_2021/14.pdf.
- Благодійний фонд «МХП — Громаді». Взято з <https://mhpgromadi.org.ua/>.
- Вишлінський, Г., Михайлишина, Д., Самойлюк, М., & Томіліна, М. (2023). Біженці з України: хто вони, скільки їх та як їх повернути? *Центр економічної стратегії*.
- Гришнова, О. А., Мішук Г. Ю., & Олійник О. О. (2014). Соціальна відповідальність у трудових відносинах. *Монографія*, 216 с. Взято з <http://surl.li/tijmg>.
- Драган, О. І., & Бергер, А. Д. (2022). Методичний підхід до оцінки рівня ефективності корпоративної соціальної відповідальності підприємства харчової промисловості. *Теоретико-прикладні підходи до формування соціальної відповідальності підприємств харчової промисловості: колективна монографія*, 60—74.
- Дуднева, Ю. Е. (2017). Сутність та класифікація кадрових ризиків організації. *Економіка і суспільство*, 8. Взято з https://economyandsociety.in.ua/journals/8_ukr/43.pdf.
- Завадських, Г. М., Лисак, О. І., & Тебенко, В. М. (2023). Корпоративна соціальна відповідальність: формування та реалізація в Україні. *Збірник наукових праць ТДАТУ імені Дмитра Моторного (економічні науки)*, 2(48), 129—139.
- Мазник, Л. В. (2019). Соціально-відповідальні трудові практики: контекст працевлаштування. *Наукові праці НУХТ*, 2, 105—110. Взято з <http://surl.li/tijji>.
- Міграційні настрої українців (інфографіка). (2024). *Gradus Research*, 2024. Взято з <https://gradus.app/uk/open-reports/experiences-hopes-and-aspirations-internally-displaced-persons-ukraine-infographics/>.
- Мішина, С. В., & Мішин, О. Ю. (2016). Класифікація кадрових ризиків підприємства. *Вісник економіки транспорту і промисловості*, 53, 87—92. Взято з <http://surl.li/smntb>.
- Новікова, О. Ф., & Шастун, А. Д. (2017). Управління людською свідомістю в сфері праці на засадах соціальної відповідальності. *Соціально-трудові відносини: теорія та практика*, 2, 100—106.
- ПрАТ «МХП». Взято з <https://mhp.com.ua/uk/pro-kompaniiu>.
- Сологуб, І. (2024). Повернутись чи залишитися? Які чинники впливають на рішення українських біженців. *Вокс Україна*. Взято з <https://voxukraine.org/povernutysya-chy-zalyshytysya-yaki-chynnyky-vplyvayut-na-rishennya-ukrayinskyh-bizhentsiv>.
- Три чверті роботодавців відчують дефіцит кадрів в Україні. (2024). Дослідження ринку праці України. Європейська Бізнес Асоціація. Взято з <https://eba.com.ua/try-chverti-robotodavtsiv-vidchuvayut-defitsyt-kadriv-v-ukrayini/>.
- Управління кадровими ризиками: керівництво для практиків (2024). Mike Pritula Talent Academy. Взято з <https://ukr.pritula.academy/tpost/prf5hlfzn1-upravlnnya-kadrovimi-rizikami-kervnitsv>.
- Харченко, Т., Жун, М., & Михайлик, Р. (2021). Управління персоналом в умовах соціальної відповідальності підприємства. *Економіка та суспільство*, 32. Взято з <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-32-13>.
- Червінська, Л., Червінська, Т., Каліна, І., Коваль, М., Шуляр, Н., & Чернишов, О. (2023). Соціальна відповідальність бізнесу в умовах війни. *Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії та практики*, 6(53), 405—416. DOI: 10.55643/fcaptr.6.53.2023.4187.

STRUCTURAL DEFORMATIONS IN THE PRODUCTION OF AGRICULTURAL PRODUCTS AND ITS CONSEQUENCES FOR FOOD SECURITY OF UKRAINE

L. Strashynska, O. Hryvkiivska, O. Mykhailyk

National University of Food Technologies

Key words:

Food problem
Food security
Crop production
Livestock production
Structure of aggregate costs
Rational consumption norms
Structure of agricultural production

Article history:

Received 13.05.2024
Received in revised form 31.05.2024
Accepted 14.6.2024

Corresponding author:

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

Citation: Страшинська Л. В., Гривківська О. В., Михайлик О. М. (2024). Структурні деформації у виробництві сільськогосподарської продукції та їх наслідки для продовольчої безпеки України. Наукові праці НУХТ, 30(3), 73—82.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-8

ABSTRACT

The essence of the term "food problem" in its narrow and broad meaning is shown in the article. The structure of agricultural production in 2020—2022 was analyzed and attention was focused on significant disproportions in the development of domestic agriculture, where a significant part is accounted for by crop production.

The current situation in Ukraine with regard to the main indicators of activity in crop production was analyzed. It was determined that the increase in the production of agricultural crops during 2020—2021 was mainly due to an increase in their yield with minor changes in the area of cultivation, however, with the beginning of the war, the situation in crop production underwent drastic changes.

The main indicators of activity in livestock production were analyzed. It was determined that the number of farm animals during 2020—2022 decreased by all species, which affected the main types of livestock production in general.

It is emphasized that these trends were reflected in the consumption of basic food products by the population of Ukraine, when the consumption of food products per person per year increased in relation to products of vegetable origin and decreased in relation to products of animal origin.

The structure of total household expenses in Ukraine was analyzed, and it was determined that along with an increase in the level of income, there is also increase the amount of expenditure on food products, while there is no opportunity to achieve rational consumption standards for the main types of food products.

The directions of the state policy regarding the creation of favorable conditions for agricultural producers with the aim of overcoming negative trends and increasing the number of livestock and production volumes of the corresponding food products were substantiated.

СТРУКТУРНІ ДЕФОРМАЦІЇ У ВИРОБНИЦТВІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ ТА ЇХ НАСЛІДКИ ДЛЯ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

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

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено сутність терміну «продовольча проблема» у вузькому та широкому його значенні. Проаналізовано структуру виробництва продукції сільського господарства у 2020—2022 рр. та акцентовано увагу на суттєвих диспропорціях у розвитку вітчизняного сільського господарства, де значна частина припадає на продукцію рослинництва. Визначено, що збільшення обсягів виробництва сільськогосподарських культур у рослинництві протягом 2020—2021 рр. було обумовлено, головним чином, за рахунок підвищення їх врожайності при незначних змінах площі вирощування, проте з початком війни ситуація в рослинництві зазнала кардинальних змін.

У результаті аналізу основних показників діяльності в тваринництві з'ясовано, що кількість сільськогосподарських тварин протягом 2020—2022 рр. зменшилась за всіма видами, що вплинуло на виробництво основних видів продукції тваринництва в цілому. Наголошено, що зазначені тенденції знайшли своє відображення у споживанні населенням України основних харчових продуктів. Так, споживання харчових продуктів на одну особу в рік збільшилось стосовно продукції рослинного походження і зменшилося стосовно продукції тваринного походження.

Зауважено, що значний дефіцит споживання населенням України харчових продуктів відносно раціонально рекомендованих (медично обґрунтованих) норм споживання спостерігається за висококалорійними видами продукції, які, зважаючи на досить високу їх вартість, є недоступними для значної кількості населення України. Аналіз структури сукупних витрат домогосподарств в Україні підтвердив, що наші співвітчизники разом зі збільшенням рівня доходів, також збільшують обсяги витрат на харчові продукти, при цьому не маючи можливості досягти раціональних норм споживання за основними видами харчових продуктів.

Обґрунтовано напрямки державної політики щодо створення сприятливих умов для сільськогосподарських товаровиробників з метою подолання негативних тенденцій та підвищення поголів'я тварин і збільшення обсягів виробництва відповідної харчової продукції.

Ключові слова: *продовольча проблема, продовольча безпека, продукція рослинництва, продукція тваринництва, структура сукупних витрат, раціональні норми споживання, структура продукції сільського господарства.*

Постановка проблеми. Забезпечення населення харчовими продуктами, вирішення проблеми продовольчої безпеки завжди вважалось пріоритетним завданням держави на будь-якому етапі розвитку суспільних відносин. Адже потребу в харчуванні відносять до першочергових потреб людини, які вона задовольняє з

огляду на фізіологічні особливості передусім. Тому держави, які змогли вирішити ці проблеми шляхом насичення продовольчого ринку якісним продовольством власного виробництва в достатній кількості, й дотепер очолюють список найрозвиненіших країн світу. В Україні протягом останніх років зменшення реальних доходів населення, зниження реальної заробітної плати, непродумана аграрна політика спричинили зменшення споживання харчових продуктів, погіршення структури споживання, зниження калорійності. Це призводить до виснаження робочої сили, зниження її здатності до продуктивної праці, скорочення тривалості життя, а відтак — до зменшення кількості населення. Отже, вирішення продовольчої проблеми на сучасному етапі розвитку держави є важливим завданням сьогодення, що й визначає актуальність пропонованого дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми розвитку сільського господарства, зокрема в аспекті його структурних деформацій, активно розглядаються в наукових працях зарубіжних і вітчизняних дослідників. Теоретичним основам аналізу аграрного ринку щодо його ефективного розвитку протягом останніх років присвятили свої праці такі провідні зарубіжні вчені, як К. Амескамп, Б. Волльні, Т. Герцфельд, Х. Мумме, К. Поггензее, К. Ратманн, Е. Фей, М. Хартманн, Г. Штрубенхофф, А. Штруве. Практичні аспекти зазначеної проблеми висвітлені в працях (Grethe, Hüger, & Kirschke, 2018; Tangermann, Kuhlmann, Shmitz, & Seegers, 2019; Bullock, & Salhofer, 2019; Koester, 2020).

Дослідженню проблем аграрного ринку в цілому та питань продовольчої безпеки України присвятили свої наукові праці низка провідних вітчизняних вчених, зокрема О. Вараксіна (Вараксіна, 2020), В. Гринишин (Гринишин, 2021), Н. Зеліско (Зеліско, 2019), Г. Кундєєва, Н. Скопенко (Кундєєва, & Скопенко, 2022), І. Павловська (Павловська, 2022), Є. Стариченко (Стариченко, 2019), О. Шевченко (Шевченко, 2022) та багато інших дослідників, проте й дотепер окремі напрямки зазначеної проблеми потребують нагального розв'язання та обґрунтування підходів до їх вирішення.

Метою статті є визначення структурних деформацій у виробництві сільськогосподарської продукції та обґрунтування їх наслідків для продовольчої безпеки України.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження стали сучасні наукові публікації вітчизняних учених у провідних періодичних і спеціалізованих виданнях, що стосуються продовольчої проблеми в аспекті шляхів вирішення та забезпечення продовольчої безпеки держави як основної мети розвитку продовольчого ринку.

Викладення основних результатів дослідження. Продовольча проблема як така може тлумачитись у вузькому та широкому значенні. У вузькому значенні продовольча проблема — це нестача продовольства (в цілому або його окремих видів) через неналежний розвиток продуктивних сил в аграрному секторі економіки чи окремих його ланок, через несприятливі погодні умови (посуха, повінь, градобій тощо) чи згубні соціально-економічні події (війни, повстання, перевороти) в окремій країні чи регіоні. У широкому значенні продовольча проблема являє собою комплекс економіко-технічних, соціально-демографічних, політичних проблем виробництва, розподілу, обміну, споживання харчових продуктів, нестача яких призводить до недоїдання, голоду та епідемій, соціально-політичної нестабільності в суспільстві, бунтів тощо.

Діапазон продовольчої проблеми досить широкий — від тимчасової нестачі окремих продуктів до масового голоду. Англійський економіст Мальтус стверджував, що витoki продовольчої проблеми полягають у тому, що населення має тенденцію зростати в геометричній прогресії, а засоби існування, передусім продовольство, збільшуються в арифметичній прогресії. Отже, головна причина нестачі продовольства з огляду на технологічний спосіб виробництва — неналежний рівень розвитку продуктивних сил у сільському господарстві, який не забезпечує випереджувальних темпів приросту продовольства порівняно з темпами приросту населення (Гринишин, 2021).

Структура продукції сільського господарства у 2020—2022 рр. представлена в табл. 1.

Таблиця 1. Структура продукції сільського господарства у 2020—2022 рр. (%)

Сільськогосподарська продукція	2020 р.	2021 р.	2022 р.	Відхилення 2021 р. до 2020 р.	Відхилення 2022 р. до 2021 р.
Продукція тваринництва	22,7	18,6	21,8	-4,1	+3,2
в тому числі вирощування сільськогосподарських тварин	12,0	10,1	11,9	-1,9	+1,8
молоко	6,7	5,4	6,5	-1,3	+1,1
яйця	3,1	2,3	2,6	-0,8	+0,3
інша продукція тваринництва	0,9	0,8	0,8	-0,1	—
Продукція рослинництва	77,3	81,4	78,2	+4,1	-3,2
в тому числі культури зернові та зернобобові	33,9	38,5	32,3	+4,6	-6,2
культури технічні	26,5	28,0	30,0	+1,5	+2,0
картопля, культури овочеві та баштанні продовольчі	12,9	11,3	13,0	-1,6	+1,7
культури плодові, ягідні та виноград	2,2	2,0	2,4	-0,2	+0,4
інша продукція рослинництва	1,8	1,6	0,5	-0,2	-1,1
Разом	100,0	100,0	100,0	—	—

**Розраховано авторами за даними: Україна у цифрах 2022. Статистичний збірник. (2023). Держстат України.*

Отже, за результатами табл. 1 можемо констатувати суттєві диспропорції у розвитку вітчизняного сільського господарства. Так, у 2020 р. частка продукції тваринництва склала 22,7% проти частки продукції рослинництва — 77,3%.

Зазначені тенденції щодо домінування частки рослинництва в структурі продукції вітчизняного сільського господарства продовжували посилюватись у 2021 році. В цей період частка продукції тваринництва проти рівня попереднього року знизилась на 4,1% і склала 18,6%, тоді як частка продукції рослинництва

збільшилась і склала 81,4%. У 2022 р. ситуація трохи покращилась. Частка продукції тваринництва в загальній структурі виробництва сільськогосподарської продукції збільшилась на 3,2%, проте це не дало змоги досягнути навіть рівня 2020 року.

Сучасна ситуація в Україні щодо виробництва основних показників діяльності в рослинництві представлена в табл. 2.

Таблиця 2. Основні показники діяльності в рослинництві у 2020—2022 рр.

Види продукції	2020 р.	2021 р.	2022 р.	2021 р. у % до 2020 р.	2022 р. у % до 2021 р.
Площа, з якої зібрано врожай сільськогосподарських культур, тис. га					
Культури зернові та зернобобові	15283	15948	11773	+4,35	-26,18
Соняшник	6481	6665	5238	+2,84	-21,41
Буряк цукровий фабричний	220	227	184	+3,18	-18,94
Картопля	1325	1283	1204	-3,17	-6,16
Культури овочеві	465	461	375	-0,86	-18,66
Культури плодові та ягідні (у плодоносному віці)	191	191	171	—	-10,47
Урожайність сільськогосподарських культур, ц з 1 га					
Культури зернові та зернобобові	42,5	53,9	45,8	+26,82	-15,03
Соняшник	20,2	24,6	21,6	+21,78	-12,20
Буряк цукровий фабричний	416,2	479,1	541,2	+15,11	+12,96
Картопля	157,2	166,4	173,5	+5,85	+4,27
Культури овочеві	207,4	215,4	200,3	+3,86	-7,01
Культури плодові та ягідні	105,6	117,3	116,1	+11,08	-1,02
Виробництво сільськогосподарських культур, тис. т					
Культури зернові та зернобобові	64933	86010	53864	+32,46	-37,37
Соняшник	13110	16392	11329	+25,03	-30,89
Буряк цукровий фабричний	9150	10854	9941	+18,62	-8,41
Картопля	20838	21356	20899	+2,49	-2,14
Культури овочеві	9653	9935	7512	+2,92	-24,39
Культури плодові та ягідні	2024	2235	1995	+10,42	-10,74

**Розраховано авторами за даними: Україна у цифрах 2022. Статистичний збірник (2023). Держстат України.*

Як свідчать дані табл. 2, площа, з якої зібрано врожай сільськогосподарських культур у 2021 р. порівняно з 2020 р., збільшилась під такими культурами: зерновими та зернобобовими (+4,35%), соняшником (+2,84%) та буряком цукровим фабричним (+3,18%). Площа під ягідними та плодовими культурами не змінилась. Дещо зменшилась площа під картоплею (-3,17%) та овочевими культурами.

ми (–0,86%). Отже, можемо констатувати, що суттєвих змін площа під сільськогосподарськими культурами в цілому не зазнала. Поряд з тим за цей період суттєво збільшилась врожайність сільськогосподарських культур. Зокрема, врожайність зернових і зернобобових культур збільшилась на 26,82%, соняшника — на 21,78%, буряка цукрового фабричного — на 15,11%, культур плодових та ягідних — на 11,08%, картоплі — на 5,85%, овочевих культур — на 3,86%.

Така ситуація спричинила й збільшення обсягів виробництва сільськогосподарських культур, зокрема зернових і зернобобових — на 32,46%, соняшника — на 25,03%, буряків цукрових фабричних — на 18,62%, культур плодових та ягідних — на 10,42%, овочевих культур — на 2,92%, картоплі — на 2,49%. Отже, збільшення виробництва сільськогосподарської продукції було обумовлено головним чином за рахунок підвищення врожайності.

Проте з початком війни в Україні ситуація в рослинництві кардинально змінилась. Значно зменшилась площа, з якої було зібрано врожай, за всіма сільськогосподарськими культурами. Зокрема, найбільше скорочення площ спостерігалось по таким культурам: зерновим і зернобобовим (–26,18%), соняшнику (–21,41%), буряку цукровому фабричному (–18,94%) та овочевими культурами (–18,66%). Урожайність сільськогосподарських культур також знизилась, за винятком цукрових буряків і картоплі, де збільшення врожайності склало відповідно 12,96% та 4,27%.

Зазначені тенденції відобразились на загальному виробництві сільськогосподарських культур. Зниження обсягів виробництва склало: за зерновими та зернобобовими культурами (–37,37%), соняшником (–30,89%), буряком цукровим фабричним (–8,41%), картоплею (–2,14%), овочевими культурами (–24,39%), культурами плодовими та ягідними (–10,74%).

Досить суперечлива ситуація протягом останніх років спостерігається у тваринництві. Основні показники діяльності в тваринництві представлені в табл. 3.

Таблиця 3. Основні показники діяльності в тваринництві у 2020–2022 рр.

Види продукції	2020 р.	2021 р.	2022 р.	2021 р. у % до 2020 р.	2022 р. у % до 2021 р.
Кількість сільськогосподарських тварин на кінець року, тис. голів					
Велика рогата худоба	2874	2644	2307	–8,00	–12,75
в тому числі корови	1673	1544	1353	–7,71	–12,37
Свині	5876	5609	4948	–4,54	–11,78
Вівці та кози	1140	1094	941	–4,04	–13,99
Птиця, млн. голів	200,6	202,2	180,5	+0,80	–10,73
Виробництво основних видів продукції тваринництва, тис. т					
М'ясо (у забійній масі)	2478	2438	2207	–1,61	–9,47
у тому числі яловичина та телятина	345	311	268	–9,86	–13,83
Свинина	697	724	659	+3,87	–8,98
баранина та козлятина	12	12	11	-	–8,33

Продовження таблиці 3

м'ясо птиці	1405	1374	1253	-2,21	-8,81
Молоко	9264	8714	7768	-5,94	-10,86
Яйця, млн. шт.	16167	14071	11922	-12,96	-15,27
Вовна, т	1573	1497	1237	-4,83	-17,37

**Розраховано авторами за даними: Україна у цифрах 2022. Статистичний збірник. (2023). Держстат України.*

Як свідчать дані табл. 2, у 2021 р. порівняно з 2020 р. кількість сільськогосподарських тварин на кінець року зменшилась практично за всіма видами, зокрема, великої рогатої худоби (-8,0%), в тому числі корів (-7,7%), свиней (-4,54%), овець і кіз (-4,0%). Дещо збільшилось поголів'я птиці (+0,8%). Така ситуація знайшла відображення й на виробництві основних видів продукції тваринництва. Практично за всіма видами продукції спостерігається зниження обсягів виробництва, крім свинини (+3,87%). За зазначений період найбільше зниження спостерігалось і за іншими видами продукції: яйця (-12,96%), яловичина й телятина (-9,86%), молоко (-5,94%), вовна (-4,83%). Виробництво м'яса птиці також зменшилося (-2,21%) навіть незважаючи на те, що поголів'я птиці за зазначений період збільшилося на 0,8%.

Досить передбачувано, що з початком війни у 2022 р. ситуація в тваринництві ще більше погіршилась порівняно з попереднім періодом. Кількість сільськогосподарських тварин значно скоротилась, що призвело до значного зниження виробництва основних видів продукції тваринництва, зокрема яловичини й телятини — на 13,83%, свинини — на 8,98%, баранини та козлятини — на 8,33%, м'яса птиці — на 8,81%. Виробництва молока, яєць і вовни також скоротилось — на 10,86%, 15,27% та 17,37% відповідно.

Отже, продовольча проблема на сучасному етапі розвитку в Україні полягає в значних структурних деформаціях у виробництві сільськогосподарської продукції, де значна частина припадає на продукцію рослинництва. Зрозуміло, що зазначені тенденції знайшли своє відображення у споживанні населенням України основних харчових продуктів, що представлено в табл. 4.

Таблиця 4. Споживання харчових продуктів в Україні на одну особу за рік, кг

Харчові продукти	Раціональні норми	Роки			2021 р. у % до	
		2019 р.	2020 р.	2021 р.	Раціональних норм	2020 р.
М'ясо і м'ясні продукти	83	53,6	53,8	53,0	-36,14	-1,49
Молоко і молочні продукти	380	200,5	201,9	201,5	-46,97	-0,20
Яйця, шт	290	282	278	272	-6,21	-2,16
Риба і рибні продукти	20	12,5	12,4	13,2	-34,00	+6,45
Цукор	38	28,8	27,8	28,5	-25,00	+2,52
Олія	13	12,0	12,3	13,6	+4,62	+10,57
Картопля	124	135,7	134,0	132,4	+6,77	-1,19
Овочі та баштанні продовольчі культури	161	164,7	164,0	165,4	+2,73	+0,85

Продовження таблиці 4

Плоди, ягоди та виноград	90	58,7	56,5	59,0	-34,44	+4,42
Хлібні продукти	101	97,6	96,6	92,7	-8,22	-4,04

*Розраховано авторами за даними: Україна у цифрах 2021. Статистичний збірник. (2022). Держстат України.

Як засвідчують дані табл. 4. споживання харчових продуктів на одну особу в рік протягом 2020—2021 рр. збільшилось стосовно продукції рослинного походження і зменшилося стосовно продукції тваринного походження. Зокрема, зросло споживання олії (+10,57%), плодів, ягід і винограду (+4,42%), цукру (+2,52%), овочів і баштанних продовольчих культур (+0,85%). Також спостерігаються позитивні тенденції щодо споживання риби та рибних продуктів (+6,45%). Проте споживання м'яса і м'ясних продуктів (-1,49%), молока і молочних продуктів (-0,20%), яєць (-2,16%) засвідчують тенденції скорочення. Крім того, за зазначений період скоротилось споживання картоплі (-1,19%) та хлібних продуктів (-4,04%).

Але суттєва проблема в Україні полягає в тому, що раціональні норми споживання у 2021 р. були досягнуті лише за трьома видами продуктів: олія (+4,62%), картопля (+6,77%) і овочі та баштанні продовольчі культури (+2,73%). Вся ця продукція відноситься до низькокалорійних видів, що містить у своєму складі досить незначну кількість мікро- та макроелементів. Також ця продукція відноситься до товарів низької цінової доступності. Отже, це найдешевша продукція, яку може собі дозволити пересічний українець.

За всіма іншими видами спостерігається значний дефіцит споживання населенням України харчових продуктів відносно раціонально рекомендованих (медично обґрунтованих) норм споживання. Зокрема, найбільший дефіцит спостерігається стосовно молока і молочних продуктів (-46,97%), м'яса і м'ясних продуктів (-36,14%), плодів, ягід і винограду (-34,44%), риби та рибних продуктів (-34,0%), цукру (-25%). Дещо менший дефіцит спостерігається по хлібним продуктам (-8,22%) та яйцям (-6,21%). Зазначена продукція відноситься до висококалорійних видів, проте, зважаючи на досить високу вартість, є недоступною для значної кількості населення України. Саме вона є джерелом необхідних людині білків, жирів, мікро- та макроелементів.

Тож суттєва проблема полягає в тому, що низький рівень доходів домогосподарств не дає змоги громадянам України споживати харчові продукти високої цінової категорії.

Структура сукупних витрат домогосподарств протягом 2019—2021 рр. представлена в табл. 5. Дані таблиці переконливо засвідчують, що частка витрат на продовольчі товари протягом останніх років, хоча й поступово зменшується, проте залишається досить значною (50,1% у 2021 р.). Незважаючи на збільшення сукупних витрат у 2021 р. проти рівня попереднього року на 18,1%, зниження частки продовольчих товарів у структурі споживчих сукупних витрат спостерігається лише на 2,6%. Отже, наші співвітчизники разом зі збільшенням рівня доходів також збільшують обсяги витрат на харчові продукти, при цьому не маючи можливості досягти раціональних норм споживання за основними їх видами.

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

Витрати	Роки			Відхилення 2021р. 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 та послуг, з них:				
сума пільг і субсидій	0,9	0,1	0,1	-
Неспоживчі сукупні витрати	8,7	8,6	8,7	+0,1

**Розраховано авторами за даними: Україна в цифрах 2021. Статистичний збірник. (2022). Держстат України.*

Складність ситуації полягає в тому, що найближчим часом тенденції зниження поголів'я сільськогосподарських тварин подолати не вдасться. Скорочення кількості фермерських господарств, зниження якості молока, що надходить на переробку, відмова сільського населення утримувати худобу буде погіршувати ситуацію в тваринництві. І темпи цього скорочення можуть бути більшими порівняно зі скороченням населення внаслідок міграції за кордон через військові дії в Україні та воєнні втрати на фронті. Тож передусім держава повинна звернути увагу на ситуацію в тваринництві, створивши сприятливі умови для сільськогосподарських товаровиробників з метою подолання негативних тенденцій та підвищення поголів'я тварин і збільшення обсягів виробництва відповідної харчової продукції.

Суттєвою проблемою є також бідність населення України, незважаючи на підвищення номінальної заробітної плати. Як засвідчує практика, реальні доходи домогосподарств зменшуються, значна частина населення через війну в Україні втратила роботу, тож вирішити цю проблему найближчим часом навряд чи вдасться, проте після закінчення війни відновлення економіки повинно враховувати нарощування виробництва основних видів продовольства при значному підвищенні доходів домогосподарств.

Висновки

Незважаючи на досить високий рівень самозабезпеченості нашої країни основними видами продовольства, в Україні спостерігається значний дефіцит у споживанні населенням основних видів харчових продуктів. Така ситуація спричинена як проблемами у сільському господарстві, так і низькою купівельною спроможністю населення, яке вимушене більше 50% доходів домогосподарств витрачати на харчові продукти. Через війну в Україні найближчим часом подолати проблему бідності навряд чи вдасться, проте пріоритети післявоєнного відновлення

повинні включати підвищення реальних доходів населення та досягнення раціональних норм споживання при підвищенні ефективності сільськогосподарського виробництва.

Література

- Баланси та споживання основних продуктів харчування населенням України 2020 р. (2021). Статистичний збірник. К.: Держстат України, 57.
- Вараксіна, О. (2020). Продовольча безпека як важливий індикатор конкурентоспроможності національної економіки [Електронний ресурс]. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. Серія: Економічні науки, 5(2), 77—85. Режим доступу: [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, 215.
- Зеліско, Н. (2019). Продовольча безпека як економічний пріоритет аграрної політики України [Електронний ресурс]. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. Серія: Економіка АПК, 26, 77—80. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vlnau_econ_2019_26_16.
- Княженко, І., Трошкін, С., Нехамкін, М. (2021). Продовольча безпека агробізнесу в контексті викликів пандемії (COVID 19) [Електронний ресурс]. *Вісник Бердянського університету менеджменту і бізнесу*, 1, 30—36. Режим доступу: 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 [Електронний ресурс]. *Наукові праці національного університету харчових технологій*, 28(2), 36—53. Режим доступу: 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. Режим доступу: 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, 251.
- Україна в цифрах 2020 (2021). Статистичний збірник. Держстат України, 33.
- Україна в цифрах 2021 (2022). Статистичний збірник. Держстат України, 34.
- Україна в цифрах 2022 (2023). Статистичний збірник. Держстат України, 32.
- Франчук, В., Мельник, С., Гобела, В., Курляк, М. (2022). Продовольча безпека: трансформація засад забезпечення. *Ефективна економіка*, 10. Режим доступу: 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. [Електронний ресурс]. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Серія: Право, 68, 110—117. Режим доступу: 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.
- Bullock, D. und Salhofer, K. (2019). Judging Agricultural Policies: A Survey. *Agricultural Economics*, 28(3), 225—243.
- Grethe, H., Hüger, A. und Kirschke, D. (2018). Aspekte der Agrarpolitik. *Agrarwirtschaft*, 54, 1—13.
- Koester, U. (2020). Grundzüge der landwirtschaftlichen Marktlehre. Published by arrangement with the original published, Verlag Franz Vahlen GmbH, München.
- Tangermann, S., Kuhlmann, F., Shmitz, P. M. und Seegers, T. (Hrsg.) (2019). *Agriculture in Germany*. Frankfurt. DLG-Verlag.

PECULIARITIES OF MARKETING PROMOTION OF INNOVATIVE MEAT PRODUCTS ON THE UKRAINIAN CONSUMER MARKET

M. Mardar, I. Ustenko, L. Agunova

Odesa National University of Technology

Key words:

*Innovative product
Meat snacks
Promotion
Consumer market
Marketing tools*

Article history:

Received 03.05.2024
Received in revised form
17.05.2024
Accepted 03.06.2024

Corresponding author:

L. Agunova

E-mail:

agunova.lora@gmail.com

Citation: Мардар М. Р., Устенко І. А., Агунова Л. В. (2024). Особливості маркетингового просування інноваційних м'ясопродуктів на споживчий ринок України. Наукові праці НУХТ, 30(3), 83—100. DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-9

ABSTRACT

The features of marketing promotion of innovative meat products to the consumer market of Ukraine were considered. Attention was paid to the global and domestic analysis of the meat products market. It was found that under the influence of external factors, the purchasing power of the Ukrainian population changed, which affected the demand for meat products and, accordingly, their range. One of the most popular types of snacks, the production of which is actively developing in Ukraine, is meat snacks. Statistical data on the dynamics of the Ukrainian market of meat snacks in 2017—2023 in monetary terms showed a positive trend. An analysis of the main producers of these products and the range of meat snacks presented on the consumer market of Ukraine was carried out. Research on the development of new types of poultry meat snacks containing natural ingredients with physiological and functional properties, which allows to ensure the production of products with improved consumer properties and microbiological indicators and that do not require additional heat treatment and strictly regulated storage conditions are presented in the article. A map of strategic groups of brands of the main competitors was built, which indicated a high differentiation of meat snacks on the Ukrainian consumer market. A marketing strategy for promoting the developed innovative meat snacks to the Ukrainian market was presented. The main strategic directions for promoting an innovative meat product are the strategy of product development on the existing market with a new product. Namely, consolidation of positions in a specific strategic group with an average sales share and a high retail price, and strengthening the emphasis from intra-group to inter-group competition, i.e. consumer loyalty and maintaining strong positions on the consumer market by increasing the brand's popularity. The proposed marketing strategy for the development of the researched product will be aimed at achieving the strategic goal of promoting an innovative product, which is grouped by individual elements of the 4P marketing mix.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-9

ОСОБЛИВОСТІ МАРКЕТИНГОВОГО ПРОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ М'ЯСОПРОДУКТІВ НА СПОЖИВЧИЙ РИНОК УКРАЇНИ

М. Р. Мардар, І. А. Устенко, Л. В. Агунова

Одеський національний технологічний університет

У статті розглянуто особливості маркетингового просування інноваційних м'ясопродуктів на споживчий ринок України. Приділено увагу світовому та вітчизняному аналізу ринку м'ясопродуктів. Виявлено, що під впливом зовнішніх факторів змінилась купівельна спроможність населення України, що вплинуло на попит м'ясних продуктів та, відповідно, на їх асортимент. До одного з найпопулярніших видів закусок, виробництво яких активно розвивається і в нашій країні, відносять м'ясні снеки. На основі статистичних даних встановлено, що в динаміці ємності українського ринку м'ясних снеків у 2017—2023 рр. у грошовому вираженні простежується позитивна тенденція.

Проведено аналіз асортименту м'ясних снеків, представленого на споживчому ринку України. Проведено огляд розробок нових видів м'ясних снеків із м'яса птиці, що містять натуральні інгредієнти з фізіологічно-функціональними властивостями, що дає змогу забезпечити випуск продукції з покращеними споживчими властивостями та мікробіологічними показниками, яка не потребує додаткової термічної обробки та жорстко регламентованих умов зберігання. Побудовано карту стратегічних груп торговельних марок основних конкурентів, що свідчить про високу диференціацію м'ясних снеків на споживчому ринку України. Представлено маркетингову стратегію просування розроблених інноваційних м'ясних снеків на ринок України. Основними стратегічними напрямками просування інноваційного м'ясного продукту запропоновано стратегію розвитку товару на існуючому ринку з новим продуктом. Йдеться про закріплення позицій у конкретній стратегічній групі із середньою часткою продажів і високою роздрібною ціною та зміцнення акценту з внутрішньогрупової на міжгрупову конкуренцію, тобто лояльності споживачів та утримання міцних позицій на споживчому ринку через підвищення популярності торговельної марки. Запропонована маркетингова стратегія розвитку розробленого товару буде направлена на вирішення стратегічної мети просування інноваційного продукту, яка групується за окремими елементами комплексу маркетингу «4Р».

Ключові слова: *інноваційний продукт, м'ясні снеки, просування, споживчий ринок, маркетингові інструменти.*

Постановка проблеми. *Просування інноваційних продуктів харчування є важливим процесом у сучасному суспільстві. З одного боку, люди приділяють усе більше уваги здоров'ю та харчуванню і вимагають нових, більш здорових продуктів. З іншого — конкуренція на ринку продуктів харчування є жорсткою, і для того, щоб виділитися серед конкурентів, необхідно постійно розробляти нові продукти, виводити їх на ринок та ефективно просувати, використовуючи різні маркетингові прийоми (Олініченко, Чміль, & Прядко, 2023).*

Акціонер HD-group Б. Шестопапов вважає: «Можна говорити, що це зараз не на часі, адже Україна переживає війну, суспільство та бізнес налаштовані на максимальну допомогу ЗСУ та тим категоріям населення, які цього потребують. Однак життя продовжується. Ми не можемо собі дозволити заморозити розвиток на весь час війни й прийти повністю зруйнованими до нашої перемоги. Потім у нас не буде дуже багато часу на відбудову. Вже зараз українські виробники їжі мають збільшувати різноманіття продуктів, давати привабливішу пропозицію внутрішнім споживачам, краще виглядати на полицях світового ритейлу та шукати вихід на нові ринки» (Шестопапов, 2023).

Однією з галузей харчової промисловості, що нині активно розвивається, є м'ясопереробна промисловість, що спеціалізується на виробництві стратегічно важливих продуктів харчування — м'яса та м'ясопродуктів. Основною місією цієї галузі (Маркіна, & Большакова, 2019) є забезпечення необхідною кількістю м'ясних продуктів, які є основним джерелом тваринного білка високої харчової цінності. Збільшення споживання населенням м'ясної продукції означає підвищення життєвого рівня населення та рівня національної продовольчої безпеки.

Нині м'ясопереробні підприємства (Сахно, & Салькова, 2021) приділяють увагу дослідженню та впровадженню нових видів сировини, добавок і технологій, надаючи пріоритет технологіям, що подовжують термін зберігання та покращують якість продукції. Останніми роками, у зв'язку із гострою конкуренцією на ринку м'ясопереробної галузі, підприємства розширюють свій асортимент за рахунок самостійно розроблених продуктів для більш повного задоволення потреб споживачів, а також класичних технологій.

Для успішного розвитку сектору необхідно вжити низку заходів як на державному рівні загалом, так і на рівні компаній зокрема (Власенко, & Семко, 2021). Держава має захищати та заохочувати вітчизняних виробників, просувати українську продукцію на міжнародних виставках, розширювати зовнішні ринки збуту, гармонізувати вітчизняні стандарти безпечності та якості продукції з міжнародними стандартами, посилювати систему управління якістю та безпечністю м'ясної продукції. Що стосується безпосередньо підприємств, то актуальним є пошук нових шляхів ефективного просування нового асортименту м'ясної продукції на споживчий ринок України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Класик американського менеджменту Пітер Ф. Друкер (Drucker, 2003) зазначав що: «Найкращий спосіб передбачити майбутнє — це створити його». Сьогодні характерною рисою індустріально розвинутих країн є інноваційних шлях розвитку. У нашому випадку — запровадження сучасних технологій виробництва харчових продуктів з метою розширення асортименту інноваційних продуктів для задоволення потреб суспільства та підвищення ефективності виробництва.

На сьогодні проблема здоров'я людини перестала бути прерогативою тільки лікарів, велику відповідальність за здоров'я населення несуть харчові підприємства. Це питання вирішують за допомогою розробки нових інноваційних технологій, а на їх основі — виробництва нових продуктів.

У Законі України «Про інноваційну діяльність» зазначено, що інноваційна діяльність — це діяльність, спрямована на використання та комерціалізацію ре-

зультатів досліджень і розробок з метою виведення на ринок нових конкурентоспроможних продуктів і послуг. Результатом інноваційної діяльності у харчовій промисловості, зокрема у м'ясопереробній галузі, є інноваційний продукт, що відповідно до Закону «Про інноваційну діяльність» є результатом науково-дослідної і (або) дослідно-конструкторської розробки.

Переважна частина технологічних інновацій у м'ясопереробній галузі реалізуються через розширення сировинної бази, застосування нових рецептурних інгредієнтів, впровадження інноваційних технологій та обладнання, пакувальних матеріалів і технологій пакування.

Світові і вітчизняні тенденції демонструють зацікавленість споживачів у м'ясопродуктах зі зменшеним вмістом компонентів, що можуть здійснювати негативний вплив на здоров'я людини — нітрит натрію, жир, кухонна сіль. Інноваційні технології виробництва м'ясних продуктів дають змогу вирішити це питання завдяки розширенню застосування м'яса кролів, індиків, яке відносять до дієтичних (Cullere, & Dalle Zotte, 2018; Gálvez, Domínguez, Pateiro, Carballo, Tomasevic, & Lorenzo, 2018) та внесенням натуральних добавок з полісахаридами (Summo, De Angelis, Difonzo, Caponio, & Pasqualone, 2020), що покращують структурні характеристики та дають змогу зменшити вміст ліпідів, внесенням емульгованих рослинних олій із ω -3 жирними кислотами, олеогелів (Мідлер, Мамченко, Неміріч, & Ройко, 2023; Utama, Jeong, Kim, Barido, & Lee, 2019; Wolfer, Acevedo, Prusa, Sebranek, & Tarté, 2018).

Бажання споживачів купувати м'ясопродукти з натуральними інгредієнтами спонукає виробників відмовлятися від використання синтетичних антиоксидантів і шукати нові альтернативи подовження термінів зберігання. Останніми роками багато досліджень доводять ефективність використання рослинних екстрактів, що містять фенольні кислоти, фенольні дитерпени, флавоноїди, леткі олії та проявляють антиоксидантний потенціал і не призводять до появи неприємного присмаку, а інколи й покращують стійкість кольору м'ясопродуктів (Tomović, Jokanović, Šojić, Škaljac, & Ivić, 2017).

У 2012 році Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) рекомендувала споживати дорослій людині не більше 5 г/день кухонної солі. Однак зменшення вмісту солі в м'ясопродуктах позначається не лише на органолептичних характеристиках, а й впливає на функціонально-технологічні властивості м'ясної сировини при технологічному обробленні і призводить до уповільнення розвитку мікроорганізмів за рахунок осмотичного шоку. Відповідно, просте зниження концентрації солі в м'ясній системі може позначитись на показниках якості і безпечності готового продукту. Уникнути небажаних змін у м'ясопродуктах зі зменшеним вмістом NaCl рекомендовано за рахунок використання інноваційних методів оброблення м'ясної сировини високим тиском від 300 до 600 МПа або потужним ультразвуком інтенсивністю вище 1 Вт/см² і частотою від 20 до 100 кГц. Обидва методи є нетепловими і не викликають денатурацію білків м'яса (Inguglia, Zhang, Tiwari, Kerry, & Burgess, 2017).

Останніми роками інноваційні нетеплові методи оброблення почали широко застосовувати для холодної пастеризації RTE м'ясопродуктів (RTE — ready-to-eat). Так, використання високого гідростатичного тиску для оброблення упако-

ваних у полімерне пакування м'ясопродуктів дає змогу значно зменшити чисельність мікроорганізмів, що потрапили на поверхню виробу вже після термічного оброблення (наприклад, контакт з поверхнею обладнання при нарізанні), у результаті підвищується безпечність і подовжується термін зберігання (Balaraman, Inmanee, De Souza, Strange, Pirak, & Barbut, 2018). Іншими нетепловими методами, які дають змогу отримати продукти з низьким мікробіологічним обсіменінням, є оброблення іонізуючим опроміненням, ультрафіолетовими променями, ультразвуком (Munir, & Federighi, 2020; Firouz, Sardari, Chamgordani, & Behjati, 2022; Nyhan, Przyjalowski, Lewis, Begley, & Callanan, 2021).

Окрім підвищення безпечності значну зацікавленість підприємства з виробництва і переробки м'яса проявляють і до інноваційних технологій, що забезпечують зменшення витрат енергоносіїв і відходів виробництва. Одним із таких напрямків є запропонована іспанською фірмою METALQUIMIA прискорена технологія сушіння нарізаних м'ясних продуктів QDS Process[®], що значно скорочує процес виробництва і підвищує енергоефективність. Готова продукція характеризується сталою якістю, високою безпечністю, а її характеристики не поступаються виробам виготовленим за традиційною технологією (Kameník, Saláková, Hulánková, Dušková, Borilová, Šedo, & Staruch, 2018).

В'ялені, ферментовані м'ясопродукти є традиційними продуктами у багатьох країнах, особливо в Європі, і вирізняються регіональними особливостями застосуванням м'яса певних порід тварин, спеціями тощо. Ці традиції розвинулись з давніх-давен і навіть є соціально-культурними елементами (Leroy, Champri, & De Vuyst, 2023).

Урбанізація населення, брак часу, тенденції до зниження калорійності раціону та споживання вуглеводів, збільшення споживання білків, вітамінів, мінералів тощо відкривають нові перспективні напрямки виробництва в'ялених м'ясопродуктів, зокрема м'ясних снєків. М'ясні снєки приваблюють споживачів хрусткою консистенцією, крихкістю, зовнішнім виглядом і кольором та різноманітними оригінальними смаками. Новітні технології й обладнання сприяють розробці та впровадженню м'ясних снєків різної форми та розміру, зі зниженим вмістом солі, з рослинними добавками, з внесенням функціональних інгредієнтів, з м'яса диких тварин тощо. А розвиток новітніх технологій пакування, використання сучасних пакувальних матеріалів і відсутність потреби створення спеціальних умов зберігання сприяє розширенню асортименту та робить їх зручними перекусами для різних категорій населення. Як приклад, у США на частку м'ясних снєків припадає 55% від загального обсягу продажів, а от у Європі та, відповідно, і в Україні цей ринок розвинений не дуже активно. На ньому представлені переважно невеликі обсяги традиційних в'ялених ковбасок (Galanakis, 2019).

Історичними попередниками цільном'язових снєків, що спочатку слугували своєрідними концентратами харчових речовин, є такі м'ясні продукти як jerky (Сполучені Штати), biltong (Південна Африка), gou gan (Китай), pastirma (Туреччина, Вірменія), tasajo (Куба), carne seca (Мексика), fenaalår (Норвегія), charqui (Південна Африка), pemmican (Північна Америка) (Global, 2023).

Зростання попиту на м'ясні снєки на світовому ринку аналітики пов'язують з інтересом кінцевого споживача до продуктів з високим вмістом білка та високими споживчими якостями. Адже при сушінні зберігаються всі поживні речовини, що

містяться в м'ясі, включаючи білок (середній вміст 35—40%), жир (середній вміст 15—18%), вітаміни (вітаміни А, Е, D і вся група Р) і багато мікроелементів (залізо, цинк, фосфор і селен). Німеччина наразі є найбільш інноваційною країною, на яку припадає 20% від загальної кількості нових продуктів, яка вийшла на ринок за останні роки. За нею йдуть Велика Британія (15%) та Іспанія (14%). У всьому світі популярність м'ясних снєків зростає швидше, ніж продажі традиційних снєків (чипси, горішки тощо). Молодь відіграє важливу роль у зміні ринкових тенденцій, оскільки вона є найчастішим покупцем м'ясних снєків (Дослідження, 2021).

Наразі технології виробництва харчових продуктів у всьому світі працюють над збільшенням різноманітності м'ясних снєків. Цей процес включає в себе, серед іншого, адаптацію національних закусок по всьому світу до реалій сучасного промислового виробництва продуктів харчування. Також все більше уваги приділяється новим форматам і більш якісним інгредієнтам, а ринок зміщується в бік снєків на основі натуральної сировини з певними функціональними властивостями (Дослідження, 2021; Global, 2023), але при цьому приділяється недостатньо уваги просуванню даних продуктів на споживчий ринок.

Питанням формування комунікативно-збутової політики продукції харчових підприємств присвячено роботи вітчизняних вчених (Savutska, Babenko, Chmil, Priadko, & Bubenets, 2023; Бубенець, & Чатченко, 2022; Олініченко, Чміль, & Прядко, 2023) та ін.

Незважаючи на вагомий внесок у розвиток маркетингової політики харчових підприємств, вважаємо за необхідне деталізувати маркетингові методи та інструменти з просування інноваційних м'ясопродуктів на споживчий ринок України.

Мета дослідження: проведення маркетингового аналізу ринку м'ясопродуктів та запровадження шляхів маркетингового просування інноваційних м'ясних снєків на споживчий ринок України.

Матеріали і методи. У процесі дослідження використано статистичні матеріали та публікації закордонних та вітчизняних вчених з питань розвитку продовольчих ринків, зокрема ринку м'яса. Дослідження проводилося з використанням як загальнонаукових, так і спеціальних методів. Серед них — системне узагальнення, економіко-статистичні методи обробки й аналізу статистичних даних, графічні і табличні методи для візуалізації та узагальнення результатів дослідження, абстрактно-логічний метод для підбиття підсумків.

Викладення основних результатів дослідження. Світовий ринок м'яса неоднорідний і складний. У той час як деякі країни відчувають гострий дефіцит м'яса, в інших спостерігається його надмірне споживання. Провідними країнами-лідерами зі споживання м'яса є США, Австралія, Аргентина, Нова Зеландія та ЄС. Ці країни споживають від 80 до 100 кг м'яса на душу населення на рік. З іншого боку, Індія, Ефіопія та Нігерія споживають щонайбільше 5—7 кг м'яса на душу населення на рік. Щодо середньорічного споживання м'яса на людину в країнах Європи, то на першому місці Іспанія та Португалія (річне споживання трохи менше 100 кг), на третьому — Ісландія (94 кг), далі Польща (87 кг), Австрія (85), Литва (80) (Tostado, 2021). В Україні в середньому річне споживання свинини, яловичини та м'яса птиці зросло з 54,1 кг у 2022 р. до 54,7 кг у 2023 р. (Ільченко, 2023).

Обсяг світового ринку м'ясних продуктів у 2022 р. становив 1,27 млрд дол. США, а за прогнозами до 2032 р. він перевищить 2,55 млрд дол. США, збільшившись у середньому на 6,71% у період з 2023 р. по 2032 р. (рис. 1) (Meat, 2023).

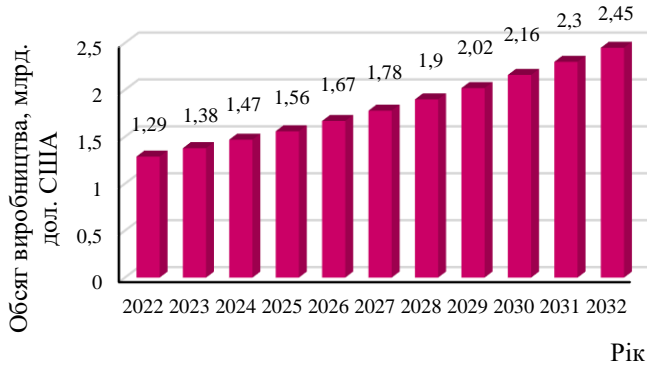


Рис. 1. Обсяг ринку м'ясних продуктів, млрд дол. США
(розроблено авторами за даними Державної служби статистики України)

Незважаючи на стрімке зростання шанувальників вегетаріанства, м'ясна продукція користується підвищеним попитом у споживачів, тому ця галузь є прогресивною в народному господарстві. У своїх працях вчені (Geiker, Bertram, Mejbom, Dragsted, Kristensen, Carrascal, ... & Astrup, 2021) зазначають, що м'ясопродукти популярні не лише завдяки своєму різноманіттю асортиментного складу, а й особливим хімічним складом, цінними споживчими та органолептичними властивостями. Значними факторами, що характеризують зростання ринку м'ясних продуктів, є підвищення попиту на готові до вживання напівфабрикати, попит на тваринний білок тощо.

Перероблені м'ясні продукти також популярні в Україні. Сектор характеризується великою кількістю гравців і широким асортиментом продукції (Дослідження, 2021). Українські виробники орієнтуються на внутрішній ринок, тому на ринку домінує переважно продукція вітчизняного виробництва. При цьому домінує продукція великих промислових підприємств, які гарантують масове виробництво основних видів м'ясних перероблених продуктів (ковбаси, сосиски, котлети тощо). Жорстка конкуренція на споживчому ринку спонукає до використання сучасних технологій виробництва, пошуку нової сировини та добавок, модернізації обладнання, що сприяє оптимізації виробничих витрат, скороченню термінів виробництва та суттєвому покращенню смакових якостей продукції. Однак лише великі підприємства здатні здійснювати великі інвестиції. Основна продукція м'ясної промисловості реалізується переважно через супермаркети та спеціалізовані магазини. Продуктові магазини та невеликі торговельні точки користуються меншою популярністю, оскільки споживачі менш впевнені в якості продукції.

Через низку факторів купівельна спроможність населення зростає повільніше, ніж споживча інфляція, що пригнічує в Україні виробництво та попит на м'ясну продукцію (населення збільшує споживання м'яса птиці та риби). Основними причинами зростання цін на м'ясну продукцію в Україні є: скорочення поголів'я

великої рогатої худоби та свиней; зростання собівартості виробництва через високі ціни на паливо, нафту та електроенергію; висока заробітна плата та складна логістика (Дослідження, 2021).

Залежно від типу продукту світовий ринок м'яса сегментований на перероблене м'ясо та свіже м'ясо. З 2022 р. на сегмент переробленого м'яса припадатиме велика частка світового ринку м'яса (Meat, 2022). Велика частка цього сегмента в основному пояснюється такими факторами, як простота використання, доступність, подовжений термін зберігання, а також попит на готові м'ясні продукти через напружений ритм життя.

На внутрішньому ринку м'ясних перероблених продуктів України також відбуваються зміни в асортименті та споживчому попиті. Все більше споживачів віддають перевагу м'ясу птиці, а не свинині та яловичині. Продукти з м'яса птиці стають все більш популярними завдяки високому споживчому попиту, оскільки вони дешевші, менш калорійні та більш поживні, ніж інші види м'яса. Як наслідок, виробництво свинини та яловичини в Україні скорочується, натомість частка ринку продукції птахівництва зростає (Аналіз, 2021).

Слід зазначити, що останнім часом збільшилося виробництво нових видів м'ясних продуктів, таких як сушені м'ясні вироби (м'ясні снеки, бастурма, в'ялене м'ясо, нагетси, білтонг, порційні ковбаски тощо), які ідеально підходять для швидких перекусів. М'ясні снеки — найпопулярніші снеки в усьому світі. Найбільше їх споживають у Великій Британії та США. Це доступні, природно висушені, готові до вживання, індивідуально упаковані продукти, які можна використовувати будь-де та за будь-яких умов, і які мають тривалий термін зберігання (Загоруй, & Мігель, 2022).

М'ясні снеки представлені на ринку двома групами: це формовані та/або цільном'язові продукти. За способом попередньої підготовки м'ясних снеків бувають солоні та мариновані. За способом термічної обробки — сушені, сиров'ялені, сиро- або варено-копчені. Виготовляють снеки з індичатини, яловичини, конини, оленини, курятини, свинини, кролятини, баранини, гусятини та страусятини. За кордоном (США, Африка) як сировина використовується м'ясо бізонів, буйволів, верблюдів і навіть крокодилів. Завдяки унікальній технології виготовлення снеки зберігають свіжість і яскравий смак. Здатність до тривалого зберігання таких продуктів забезпечується сушінням, що проходить у поєднанні з в'яленням і зазвичай з попереднім посолом та/або маринуванням м'ясної сировини. Сушіння дає змогу суттєво знизити показник активності води до рівня, що забезпечує тривалі терміни зберігання.

Завдяки своїм споживчим властивостям, які обумовлені особливостями технології виробництва, споживачі люблять м'ясні снеки. Так, за результатами маркетингових досліджень, які були проведені в Іспанії (онлайн-опитування за участю 234 споживачів) встановлено, що найбільш важливими факторами купівлі та споживання закусок були мотиви, пов'язані зі зручністю та смачністю. Що стосується частоти споживання, то 50,9% респондентів вживають м'ясні закуски час від часу, 23,9% один раз на тиждень, 13,2% два-три рази на тиждень і 11,1% ніколи. Щодо ставлення до продуктів здорового харчування, то для споживачів здорова м'ясна закуска має бути багата на білок та з низьким вмістом солі (Alarcón-García, Perez-Alvarez, López-Vargas, & Pagán-Moreno, 2020). За результатами

лондонської дослідницької компанії Technavio (Meat, 2021), світовий ринок м'ясних снєків має шанс розширитися на 4,14 млрд дол. США протягом 2021—2025 рр., при цьому середньорічний темп зростання ринку прискориться на рівні 8,16%. Змінюються і тенденції в асортименті м'ясних снєків, виробники змінюють фокус своїх маркетингових стратегій і позиціонують свою продукцію як здорові білкові закуски. Гравці ринку інвестують у розробку нових і більш здорових продуктів харчування, які не містять шкідливих інгредієнтів. Зростаючий попит на багаті білком продукти серед споживачів і зручність, яку пропонують м'ясні снєки, наприклад, споживання на ходу, робить м'ясні закуски популярним продуктом.

В Україні виробництво снєків тільки набирає обертів, однак ця група продовольчих товарів швидко стає популярною серед споживачів (Загоруй, & Мігель, 2022). Серед факторів, які сприяють розвитку ринку снєків у нашій країні, можна відзначити високі темпи урбанізації (зміна ритму життя, особливо в великих містах-мегаполісах, що стимулює зростання попиту саме на снєкову продукцію, яка вирішує завдання швидкого вгамування голоду). Також впливає розвинена культура споживання і високий попит на слабоалкогольну продукцію серед українців, що тягне за собою збільшення попиту на снєки (Зоріна, Попов, & Морозов, 2019). Проведені маркетингові дослідження показують, що снєкову продукцію споживають приблизно 74% населення (Шквиря, & Арестенко, 2023). Щодо частоти споживання снєків було отримано такі результати: 45% респондентів відповіли — часто, 34% — іноді, 21% — дуже рідко. Це означає, що більшість людей споживають снєкову продукцію. У ході дослідження також було виявлено, що споживачі найчастіше купують снєки у великих торговельних мережах (близько 66% споживачів), магазинах біля будинків (більше 40%), а також у кіосках і придорожніх кафе (17%). Отримані результати необхідно враховувати при розробці стратегії щодо просування снєкової продукції на споживчий ринок України. Також встановлено що споживач звертає увагу на продукцію здорового харчування. Тренд на здорове харчування відкриває можливості для розвитку нових видів снєкових категорій.

За даними Державної служби статистики України встановлено, що в динаміці ємності українського ринку м'ясних снєків у 2017—2023 рр. (у грошовому вираженні) простежується позитивна тенденція (рис. 2).

З 2017 р. йде зростання виробництва та реалізації м'ясних снєків. У 2020 р. було вироблено м'ясних снєків у грошовому вираженні близько 53,3 млн дол. США, у 2023 р. цей показник склав вже 82,4 млн дол США. Тобто з 2020 р. відбувається незначне уповільнення темпів зростання ємності ринку м'ясних снєків з 26,6 до 21,7% на тлі загального зниження ділової активності й виробництва у зв'язку з пандемією COVID-19. Далі воєнні дії на території України уповільнили темпи зростання приблизно в два рази — з 23,5 до 10,2%.

Наразі український ринок м'ясних снєків не такий гастрономічно вишуканий або, навпаки, надто різноманітний, як в інших країнах. Незважаючи на популярність м'ясних снєків в Україні, їх масового виробництва поки що не спостерігається.

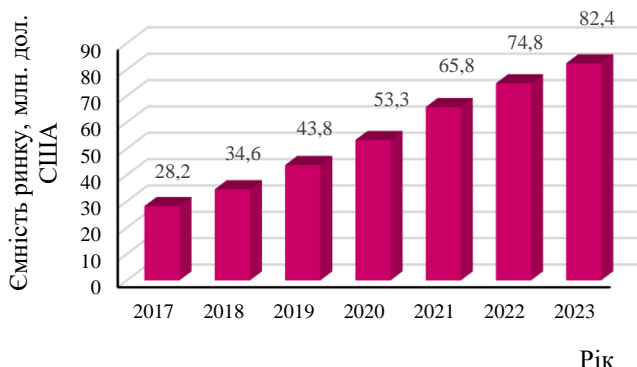


Рис. 2. Динаміка смності ринку м'ясних снєків України у 2017—2023 рр., млн дол. США (розроблено авторами за даними Державної служби статистики України)

Лише кілька гравців ринку конкурують між собою за можливість увійти до масових пивних і продуктових мереж або зайняти лідируючі позиції в сегменті гастрономічних делікатесів (табл. 1).

Таблиця 1. Асортимент м'ясних снєків, представлених на продаж у торговельних мережах України у 2023 році

Торговельна марка	Конкурентна особливість	Виробник	Частка продажів, %	Роздрібна ціна
ТМ «М'ясна Гільдія»	Сирокопчені снєки з високим вмістом білка	ТОВ «Житомирський м'ясокомбінат», Україна	2,1	Висока
ТМ «Mr. Snack»	Снєки з органічного м'яса вищого ґатунку	ФОП «Mr.Snack», м. Дніпро, Україна	5,2	Середня
ТМ «New Beer Snack»	Балик, палички з курятини, зі свинини, з яловичини	ТОВ «Рост», Полтавська обл., Україна	9,9	Висока
ТМ «Бащинський»	Чіпси курячі	ПрАТ «Український бекон», Донецька обл., Україна	8,8	Середня
ТМ «Глобино»	Слайси з курятини, зі свинини, з яловичини	ТОВ «Глобино», Глобинський м'ясокомбінат, Полтавська обл., Україна	4,2	Низька
ТМ «Димков»	Слайси з курятини, зі свинини, з яловичини	ФОП «Орел Д. В.», м. Дніпро, Україна	2,6	Середня
ТМ «Об'єрку»	В'ялена свинина, яловичина, індичка; нагетси в'ялені, шкварки; ковбаски сиров'ялені; палички м'ясні	ТОВ «Драйд Фудз», м. Київ, Україна	17,7	Висока

Продовження таблиці 1

ТМ «П'ятачок»	Чіпси, снеки м'ясні	ТОВ «Нива Переяславщини», Київська обл., Україна	2,1	Середня
ТМ «РябChick»	Снеки курячі, слайси курячі	ПрАТ «МХП», ТОВ «Вінницька птахофабрика», Україна	13,5	Висока
ТМ «Ювілейний»	Чіпси з курятини, зі свинини, з яловичини	ТОВ «М'ясокомбінат «Ювілейний», м. Дніпро, Україна	1,6	Середня
ТМ «Смачні Справи»	Снеки з м'яса птиці, свинини; джерки сиров'ялені з м'яса індички, курки, конини	ТОВ «Смачні справи», Київська обл., Україна	4,2	Середня
ТМ «Dmytruk»	Ковбаски з м'яса курки, яловичини	ФОП «Дмитрук Ю. Р.», м. Луцьк, Україна	19,3	Низька
ТМ «Лібра»	Чіпси з м'яса курки, індички, яловичини	ТОВ «Лібра», м. Одеса, Україна	1,6	Висока
ТМ «Chick's»	Джерки з м'яса курки	Польща	7,3	Висока

Примітка: частку продажів визначали за ТМ, що представлені у торговельних мережах, пивних крамницях України у 2023 р. (розроблено авторами).

У торговельних мережах можна знайти різноманітні види м'ясних снеків. Серед найпопулярніших видів, які представлені в більшості супермаркетах, можна виділити ТМ «Dmytruk», ТМ «ОбJerky», ТМ «РябChick». ТМ «Mr. Snack» — це відомий крафтовий виробник, який розробляє свою продукцію за власними рецептами, використовуючи м'ясо вищого гатунку та натуральні спеції як основні інгредієнти. Термін придатності продукції становить лише 30 днів при зберіганні в холодильнику. Продають продукцію онлайн. Лідерами ринку м'ясних снеків протягом останніх двох років впевнено тримаються три виробника: ФОП «Дмитрук Ю. Р.» (м. Луцьк), ТОВ «Драйд Фудз» (м. Київ) та ПрАТ «МХП» (ТОВ «Вінницька птахофабрика»). Найбільш відомими і споживаними є торговельні марки м'ясних снеків ТМ «Mr. Snack», ТМ «New Beer Snack», ТМ «ОбJerky» та ТМ «Dmytruk».

Dryd Foods — перша українська компанія, яка почала виробляти в'ялене м'ясо за оригінальною австрійською технологією під брендом «ОбJerky». У 2022 р. оборот компанії збільшився приблизно на 35%, і вона почала експортувати до ЄС. «Salamini снеки» від ТМ «М'ясна Гільдія» — це високобілкові, поживні снеки, виготовлені за автентичними європейськими рецептами з використанням делікатесних інгредієнтів, таких як натуральна свинина, маринована з італійськими спеціями. Ці снеки є найпопулярнішим продуктом у сегменті сирокочених закусок (Ступаков, Кондратюк, & Савченко, 2023). Можна зробити висновок, що рівень конкурентоспроможності м'ясних снеків зростає, і основне просування

продукції йде через торговельні мережі, що сприятиме більшому товарообігу м'ясних снєків та конкуренції між собою.

Незважаючи на асортимент представленої продукції в сегменті м'ясних снєків, вчені проводять дослідження щодо розробки нових інноваційних продуктів на основі вітчизняної сировини. Так, науковцями ОНТУ розроблена технологія снєків із м'яса птиці з функціонально-фізіологічними інгредієнтами. При розробленні використані натуральні автентичні інгредієнти, такі як мед, гірчиця, насіння кунжуту. Вибір інгредієнтів обумовлений їх високими органолептичними властивостями і здатністю підвищувати біологічну цінність харчових продуктів. Споживчі переваги м'яса птиці у вітчизняних споживачів загальновідомі і описані вище.

Мед має бактерицидні, лікувальні та дієтичні властивості, а також характеризується протизапальною дією. Лікувальній дії меду сприяє його цукровий склад, мінерали, мікроелементи, вітаміни, ферменти та біологічно активні речовини. Мед використовують як тонізуючий і загальнозміцнюючий засіб. Його застосовують при лікуванні ран і опіків, захворюваннях серцево-судинної системи, нирок, печінки, жовчовивідних шляхів і шлунково-кишкового тракту (Китаєва, Хамід, & Семенова, 2016). Насіння гірчиці є цінним джерелом багатьох біоактивних інгредієнтів, а також надає характерний смак продуктам та пригнічує розвиток мікрофлори, збільшуючи таким чином термін зберігання (Çağlar, Veli, Tomar, & Akarca, 2018).

Зростаюча популярність натуральних інгредієнтів у харчовій промисловості зробила гірчицю популярним компонентом для створення нових продуктів. Розчинні харчові волокна, наявні в слизі насіння гірчиці сприяють зниженню вмісту інсуліну у крові та плазмі крові, що робить гірчицю бажаним інгредієнтом у харчуванні людей з підвищеним ризиком розвитку діабету 2 типу (Kay, Trigatti, MacNeil, Klingel, Repin, Goff, & Duncan, 2017).

З даних, наведених у (Balestrieri, Ribolsi, Guarino, Emerenziani, Altomare, & Cicala, 2020), випливає, що зі зменшенням калорійності раціону споживачі можуть недостатньо отримувати вуглеводів, білків, вітамінів, мінеральних речовин і жирів. Це призводить до небажаної втрати маси тіла, а також дефіциту мікроелементів, що ще більше підвищує ризик хронічних захворювань. Одним з інгредієнтів, який може ефективно вирішувати цю проблему, є насіння кунжуту. Насіння кунжуту містить багато поживних речовин. Білок у кунжуті є повноцінним, а співвідношення вмісту незамінних амінокислот дуже подібне до людського організму (Morris, Wang, & Tonnis, 2021). Воно здатне забезпечувати рекомендовану добову норму споживання таких поживних речовин, як кальцій, фосфор, залізо, магній і калій. Дослідження показало, що насіння кунжуту забезпечує 100% рекомендованої добової норми марганцю та калію, 57%—65% — фосфору та заліза та 13 %—35% — цинку, кальцію та міді. Його рекомендоване щоденне споживання становить від 25 до 50 грамів (Pathak, Rahman, Bhagawati, & Gogoi, 2017).

Розроблена в ОНТУ рецептура снєків із м'яса птиці з функціонально-фізіологічними інгредієнтами дає змогу забезпечувати денну потребу у кальцію і магнії більш ніж на 21% від денної норми. Готова продукція характеризується приємним зовнішнім виглядом, з рівномірно розподіленим насінням кунжуту на поверхні.

Консистенція суха, з вираженою крихкістю. Має насичений виражений колір, а запах і смак насичений, з присмаком меду, гірчиці та кунжуту. Запропоновано також пакування готової продукції з використанням модифікованого газового середовища, що гальмує розвиток мікроорганізмів в процесі зберігання. Низька масова частка вологи у готовій продукції (менше 9%) та сучасні технології пакування забезпечують гарантований термін зберігання продукції за температури від 0 до 22 °С, відносній вологості 65—75% впродовж 6 місяців без втрати поживних характеристик і показників якості.

З метою розробки та впровадження маркетингового підходу до просування розроблених інноваційних м'ясних продуктів було створено карту стратегічних груп основних конкурентів для нових м'ясних снєків. Для аналізу було обрано два фактори продукту: роздрібна ціна та частка продажів. За даними табл. 1 було побудовано графічну модель карти стратегічних груп конкурентів (рис. 3).

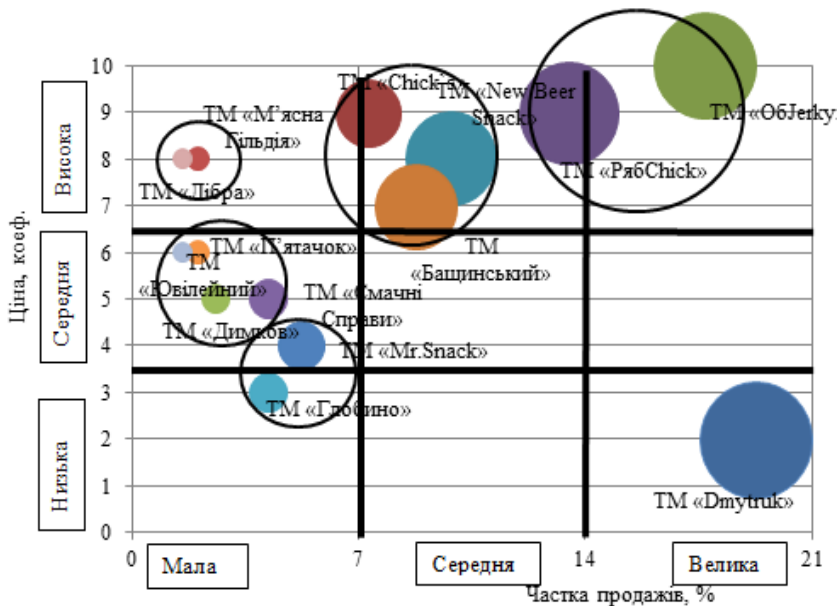


Рис. 3. Карта стратегічних груп конкурентів торговельних марок м'ясних снєків на ринку України

Карта стратегічних груп дала змогу виділити шість основних стратегічних груп. Наявність на карті більше однієї стратегічної групи означає, що кожна група конкурентів має різну стратегію роздрібних продажів і кожна група використовує свій метод конкуренції.

Використання кіл різного діаметра на карті (діаметр відповідає загальній ринковій частці продажів, розподілених за стратегічними групами) дає чітке уявлення про відносний розмір кожної стратегічної групи. ТМ «Dmytruk» належить до першої стратегічної групи з великою часткою продажів і низькими цінами. До другої стратегічної групи належать ТМ «ОбJerky» та ТМ «РябChick», які мають високу частку продажів та високі ціни. ТМ «Chick's», ТМ «New Beer Snack» і ТМ «Башинський» належать до третьої стратегічної групи з середньою часткою

продажу та високими цінами. До четвертої стратегічної групи належать ТМ «Глобіно» та ТМ «Mr. Snack». Характеризується невеликою часткою продажів і низькими цінами. П'ята зона включає ТМ «Димков», ТМ «Смачні Справи», ТМ «П'ятачок» та ТМ «Ювілейний», які характеризуються низькими частками продажів та середніми роздрібними цінами. Остання стратегічна група — ТМ «М'ясна Гільдія» та ТМ «Лібра» — характеризується невеликими частками продажу та високими цінами.

Побудована карта стратегічних груп конкурентів свідчить про високу диференціацію м'ясних снеків на споживчому ринку України. Основними стратегічними напрямками розвитку розробленого нами інноваційного продукту у найближчий час можна запропонувати збереження позицій в конкретній стратегічній групі, наприклад, з середньою часткою продажів та високою роздрібною ціною, та зміцнити акцент з внутрішньогрупової на міжгрупову конкуренцію, тобто довіри споживачів та утримання міцних позицій на споживчому ринку через підвищення популярності торговельної марки.

У такому разі для просування інноваційних м'ясних снеків можна запропонувати маркетингову стратегію розвитку товару. Це стратегія досягнення цілей стратегічного розвитку компанії на існуючому ринку з новим продуктом. Базова маркетингова стратегія розвитку розроблених м'ясних снеків буде направлена на вирішення стратегічної мети просування інноваційного продукту, яка групується за окремими елементами комплексу маркетингу «4P» (рис. 4).

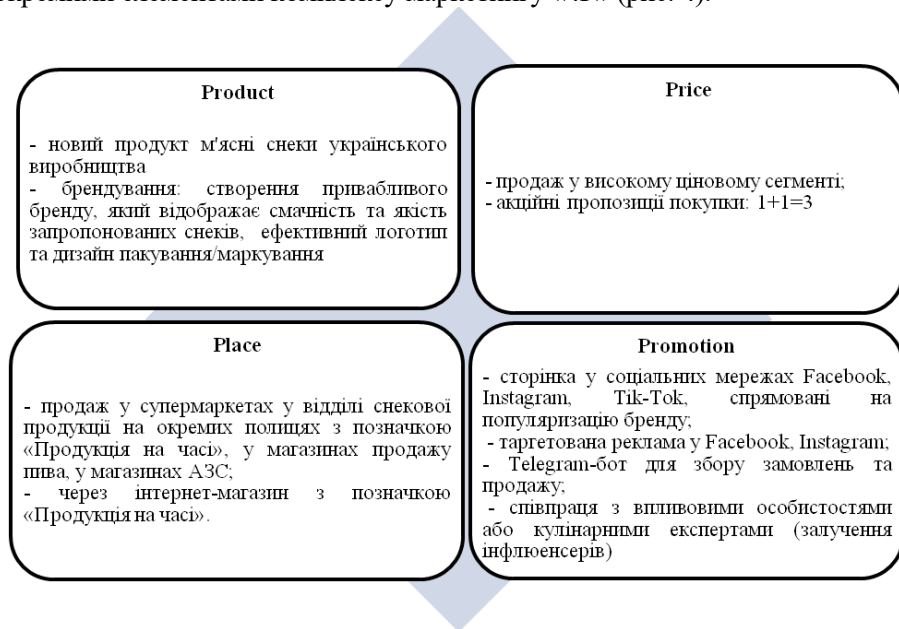


Рис. 4. Стратегія для кожного з елементів комплексу маркетингу

Пропонуємо для просування розроблених нових м'ясних снєків ексклюзивні пропозиції нових смаків, щоб збільшити зацікавленість споживачів. Запровадження брендування, тобто створення привабливого бренду, який відображає

смачність та якість запропонованих снєків, використання ефективного логотипу та дизайну упаковки/маркування, щоб виділитися на полицях магазину. Також необхідно використовувати інструменти цифрового маркетингу, зокрема запуснути рекламні кампанії в соціальних мережах, спрямовані на популяризацію бренду, особливу увагу при цьому акцентувати на здоровому харчуванні, співпрацювати з впливовими особистостями або кулінарними експертами (залучення інфлюенсерів), на своїх сторінках у соціальних мережах демонструвати фото та відео, які показують приготування та споживання снєків, проводити інформаційні заходи щодо популяризації продуктів здорового харчування. У супермаркетах проводити промоакції, знижки або бонусні програми для стимулювання продажів, дегустації, де потенційні споживачі можуть скуштувати запропоновані продукти.

Висновки

На основі проведених досліджень здійснено аналіз ринку м'ясопродуктів. Обґрунтовано зростання ринку споживання м'ясних продуктів у світі, що обумовлено популяризацією цих продуктів завдяки різноманіттю асортиментного складу, особливому хімічному складу, цінними споживчими та органолептичними властивостями. Що стосується української м'ясопереробної промисловості, то сектор характеризується великою чисельністю гравців і широким асортиментом продукції. На українському ринку м'яса домінують вітчизняні виробники, які реалізують свою продукцію через супермаркети та спеціалізовані магазини. На попит на м'ясну продукцію впливає купівельна спроможність населення, яка в Україні зростає повільніше, ніж споживча інфляція, що обмежує виробництво. Основними причинами зростання цін на м'ясну продукцію в Україні є: скорочення поголів'я великої рогатої худоби та свиней; збільшення собівартості виробництва через високі ціни на паливо, нафту та електроенергію; висока заробітна плата та складна логістика. Як наслідок, відбулися зміни в асортименті продукції на місцевому ринку м'ясопереробної галузі. Все більше споживачів віддають перевагу продуктам з м'яса птиці, а не свинині та яловичині. Останнім часом також збільшилося виробництво нових видів м'ясних продуктів, таких як м'ясні снєки, які ідеально підходять для швидких перекусів.

На основі статистичних даних встановлено, що в динаміці ємності українського ринку м'ясних снєків у 2017—2023 рр. у грошовому вираженні простежується позитивна тенденція. Проведено аналіз основних виробників продукції та асортимент м'ясних снєків, який представлений на споживчому ринку України та користується найбільшим попитом. Проведені дослідження щодо розробки нових видів м'ясних снєків із м'яса птиці, що містять натуральні інгредієнти з фізіологічно-функціональними властивостями (мед, гірчиця, насіння кунжуту), що дає змогу забезпечити випуск продукції з покращеними споживчими властивостями та мікробіологічними показниками, які не потребують додаткової термічної обробки та жорстко регламентованих умов зберігання. Низька масова частка вологи у готовій продукції (менше 9%) та сучасні технології пакування забезпечують гарантований термін зберігання розробленої продукції за температури від 0 до 22 °С, відносній вологості 65—75% впродовж 6 місяців без втрати споживчих характеристик і показників якості.

Для розробки та запровадження маркетингових методів просування розробленого м'ясного продукту побудована карта стратегічних груп основних конкурентів нових м'ясних снєків. Побудована карта свідчить про високу диференціацію м'ясних снєків на споживчому ринку України. Запропонована маркетингова стратегія просування розроблених інноваційних м'ясних снєків на споживчий ринок України, зокрема запропоновано стратегію розвитку товару на існуючому ринку з новим продуктом. За допомогою моделі «4Р» визначено шляхи просування нового продукту на споживчий ринок України. У подальшому планується провести дослідження щодо оцінки ефективності запропонованих маркетингових методів просування нового продукту на споживчий ринок України.

Література

- Аналіз ринку м'яса та м'ясопродуктів (у тому числі крафт та органіка) в Україні. 2021 рік. (2021). Взято з: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-myasa-i-myasoproduktov-v-tom-chisle-kraft-i-organika-v-ukraine-2021-god>.
- Бубенець, І. Г., & Чатченко, О. Є. (2022). Маркетингова діяльність підприємств в умовах кризи. *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. 3(306), 323—326. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-306-3-48>.
- Власенко, І., & Семко, Т. (2021). М'ясопереробна галузь України: тенденції та перспективи. *Міжнародний науково-практичний журнал Товари і Ринки*. 40(4), 16—25. DOI: [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021\(40\)02](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021(40)02).
- Дослідження ринку м'ясних снєків в Україні. 2021 рік (2021). Взято з: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/issledovanie-rynka-myasnyh-snekov-v-ukraine-2021-god>.
- Загоруй, Л. П., & Мігель, Є. (2022). Аналіз споживання м'ясної снєкової продукції студентами. In *The 8 th International scientific and practical conference “Topical issues of modern science, society and education”* (pp. 54—56). Kharkiv: Ukraine.
- Зоріна, О. І., Попов, В. В., & Морозов, О. М. (2019). Маркетингові дослідження ринку снєкової продукції. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». Серія: Економічні науки*. 10, 67—72. DOI: [10.25313/2520-2294-2019-10-5271](https://doi.org/10.25313/2520-2294-2019-10-5271).
- Льченко, І. (2023). В Україні стали більше виробляти та споживати м'яса. Взято з: <https://www.epravda.com.ua/news/2023/12/11/707570/>.
- Китаєва, А. П., Хамід, К. О., & Семенова, З. Т., (2016). Лікувальні властивості меду різних регіонів України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я: наук. журн.*, 2(89), V. 1. 137—144.
- Маркіна, І. А., & Большакова, Є. Л. (2019). Особливості функціонування та тенденції розвитку ринку м'яса та м'ясної продукції в Україні. *Український журнал прикладної економіки*, 4(4), 119—128. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2019-4-14>.
- Мідлер, Г. С., Мамченко, Л. Є., Неміріч, О. В., & Ройко, О. Є. (2023). Удосконалення технології біфштексів з використанням м'яса кролика і амарантового борошна. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, (3), 46—55. DOI: <https://doi.org/10.32782/tmv-tech.2023.3.6>.
- Олініченко, К. С., Чміль, Г. Л., & Прядко, О. М. (2023) Маркетингові технології просування інноваційного продукту за допомогою брендингу. *Науковий погляд: економіка та управління*, 3(83), 102—110. DOI: <https://doi.org/10.32782/2521-666X/2023-83-14>.
- Сахно, А. А., & Салькова, І. Ю. (2021). Дослідження сталого розвитку м'ясопродуктового підкомплексу та ринку м'яса в Україні. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Економічні науки*. 3, 256—261. DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5740-2021-294-3-41>.
- Ступаков, О. О., Кондратюк, Н. В., & Савченко, А. М. (2023). Функціональні снєки — нові гастрономічні рішення для сектору крафтових м'ясарень. Сталий ланцюг харчування та безпека кризь науку, знання та бізнес: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції. Харків: ДБТУ. 79—80.

Шестопалов, Б. (2023). Інноваційний український foodtech зародиться із кластерів із потужними R&D центрами. Взято з: <https://newfood.media/2023/11/07/innovatsiynny-ukrainskyu-foodtech-zarodytsia-iz-klasteriv-iz-potuzhnyumu-r-d-tsentramy-borys-shestopalov-hd-group/>.

Шквиря, Н. О., & Арестенко, Т. В. (2023). *Маркетингові дослідження поведінки споживачів снєків*. Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (економічні науки). Запоріжжя: Друкарня ТДАТУ. 2(48). 120—128.

Alarcón-García, M. A., Perez-Alvarez, J. A., López-Vargas, J. H., & Pagán-Moreno, M. J. (2020). Meat snacks consumption: Aspects that the consumer looks for to consider them a healthy food. *Proceedings*, 70, 82. https://doi.org/10.3390/foods_2020-07738.

Balamurugan, S., Inmanee, P., De Souza, J., Strange, P., Pirak, T., & Barbut, S. (2018). Effects of high pressure processing and hot water pasteurization of cooked sausages on inactivation of inoculated *Listeria monocytogenes*, natural populations of lactic acid bacteria, *Pseudomonas* spp., and coliforms and their recovery during storage at 4 and 10 °C. *Journal of food protection*, 81(8), 1245—1251. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-18-024>.

Balestrieri, P., Ribolsi, M., Guarino, M. P. L., Emerenziani, S., Altomare, A., & Cicala, M. (2020). Nutritional aspects in inflammatory bowel diseases. *Nutrients*. 12(2), 372. doi: 10.3390/nu12020372.

Cullere, M., & Dalle Zotte, A. (2018). Rabbit meat production and consumption: State of knowledge and future perspectives. *Meat science*, 143, 137—146. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.04.029.

Drucker, P. F. (2002). *Managing in the Next Society* (1st ed). New York: St. Martin's Press.

Firouz, M. S., Sardari, H., Chamgordani, P. A., & Behjati, M. (2022). Power ultrasound in the meat industry (freezing, cooking and fermentation): Mechanisms, advances and challenges. *Ultrasonics Sonochemistry*, 86, 106027. doi: 10.1016/j.ulsonch.2022.106027.

Çağlar, M. Y., Veli, G., Tomar, O., & Akarca, G. (2018). Determination of the effect of different ground mustard seeds on quality characteristics of meatballs. *Korean journal for food science of animal resources*, 38(3), 530. doi: <https://doi.org/10.5851/kosfa.2018.38.3.530>.

Galanakis, C. M. (Ed.). (2019). *Innovations in traditional foods*. Woodhead Publishing.

Gálvez, F., Domínguez, R., Pateiro, M., Carballo, J., Tomasevic, I., & Lorenzo, J. M. (2018). Effect of gender on breast and thigh turkey meat quality. *British Poultry Science*, 59(4), 408—415. doi: 10.1080/00071668.2018.1465177.

Geiker, N. R. W., Bertram, H. C., Mejborn, H., Dragsted, L. O., Kristensen, L., Carrascal, J. R., & Astrup, A. (2021). Meat and human health — Current knowledge and research gaps. *Foods*. 10(7), 1556. doi: 10.3390/foods10071556.

Global Meat Snacks Market: Analysis by Type, Source, Category, Packaging, Distribution Channel, Region, Size and Trends with Impact of COVID-19 and Forecast up to 2028 (2023). Взято з: <https://www.researchandmarkets.com/report/meat-snack>.

Inguglia, E. S., Zhang, Z., Tiwari, B. K., Kerry, J. P., & Burgess, C. M. (2017). Salt reduction strategies in processed meat products-A review. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 70—78. doi:10.1016/j.tifs.2016.10.016.

Kameník, J., Saláková, A., Hulánková, R., Dušková, M., Borilová, G., Šedo, O., & Staruch, L. (2018). Selected characteristics of dry fermented sausages prepared with quick-dry-slice (QDS process) technology and their comparison with traditional products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), e13314. doi: 10.1111/jfpp.13314.

Kay, B. A., Trigatti, K., MacNeil, M. B., Klingel, S. L., Repin, N., Goff, H. D., & Duncan, A. M. (2017). Pudding products enriched with yellow mustard mucilage, fenugreek gum or flaxseed mucilage and matched for simulated intestinal viscosity significantly reduce postprandial peak glucose and insulin in adults at risk for type 2 diabetes. *Journal of Functional Foods*. 37, 603—611. doi:10.1016/J.JFF.2017.08.017.

Leroy, F., Champi, C., & De Vuyst, L. (2023). Meat fermentation at a crossroads: where the age-old interplay of human, animal, and microbial diversity and contemporary markets meet. *FEMS Microbiology Reviews*. fuad016. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuad016>.

Meat Market by Product Type (Processed Meat, Fresh Meat), Animal Type (Cattle and Buffalo, Pig, Poultry, Sheep and Goat), by Distribution Channel (Business to Consumer (B2C), Business to

Business (B2B) — Global Forecast to 2029, (2022). Meticulous Market Research. Взято з: <https://www.meticulousresearch.com/product/meat-market-5261#description>.

Meat Products Market To Attain Revenue USD 2.45 Bn By 2032. Press Release Details. (2023). Precedence research. Взято з: <https://www.precedenceresearch.com/press-release/meat-products-market>.

Meat Snacks Market Growth, Size, Trends, Analysis Report by Type, Application, Region and Segment Forecast 2021—2025. (2021). Взято з: <https://www.technavio.com/report/meat-snacks-market-industry-analysis>.

Morris, J. B., Wang, M. L., & Tonnis, B. D. (2021). Variability for oil, protein, lignan, tocopherol, and fatty acid concentrations in eight sesame (*Sesamum indicum L.*) genotypes. *Industrial Crops and Products*. 64, 113355. doi:10.1016/j.indcrop.2021.113355.

Munir, M. T., & Federighi, M. (2020). Control of foodborne biological hazards by ionizing radiations. *Foods*. 9(7), 878. doi: 10.3390/foods9070878.

Nyhan, L., Przyjalowski, M., Lewis, L., Begley, M., & Callanan, M. (2021). Investigating the use of ultraviolet light emitting diodes (UV-LEDs) for the inactivation of bacteria in powdered food ingredients. *Foods*. 10(4), 797. <https://doi.org/10.3390/foods10040797>.

Pathak, K., Rahman, S. W., Bhagawati, S., & Gogoi, B. (2017). Sesame (*Sesamum indicum L.*), an underexploited oil seed crop: Current status, features and importance — A review. *Agricultural Reviews*. 38(3), 223—227. doi:10.18805/ag.v38i03.8982.

Savytska, N., Babenko, V., Chmil, H., Priadko, O. & Bubenets, I. (2023). Digitalization of Business Development Marketing Tools in the B2C Market. *Journal of Information Technology Management*, 15(1), 124—134. <https://doi.org/10.22059/jitm.2023.90740>.

Summo, C., De Angelis, D., Difonzo, G., Caponio, F., & Pasqualone, A. (2020). Effectiveness of oat-hull-based ingredient as fat replacer to produce low fat burger with high beta-glucans content. *Foods*. 9(8), 1057. <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/8/1057>.

Tomović, V., Jokanović, M., Šojić, B., Škaljac, S., & Ivić, M. (2017, September). *Plants as natural antioxidants for meat products*. In IOP conference series: earth and environmental science. (85(1), p. 012030). IOP Publishing. Doi 10.1088/1755-1315/85/1/012030.

Tostado, L. (2021). Meat consumption: Everyday food and luxury good. Meat Atlas; European Union: Brussels, Belgium. Взято з: <https://eu.boell.org/en/2021/09/07/consumption-everyday-food-and-luxury-good>.

Utama, D. T., Jeong, H. S., Kim, J., Barido, F. H., & Lee, S. K. (2019). Fatty acid composition and quality properties of chicken sausage formulated with pre-emulsified perilla-canola oil as an animal fat replacer. *Poultry Science*. 98(7), 3059—3066. doi: 10.3382/ps/pez105.

Wolfer, T. L., Acevedo, N. C., Prusa, K. J., Sebranek, J. G., & Tarté, R. (2018). Replacement of pork fat in frankfurter-type sausages by soybean oil oleogels structured with rice bran wax. *Meat Science*. 145, 352—362. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.07.012>.

OPTIMIZATION OF LIQUID SUPPLY NODES DESIGN IN VENTURI SCRUBBERS BASED ON CFD INVESTIGATIONS

V. Ponomarenko, D. Liulka, R. Yakobchuk, A. Slyusenko, S. Lementar,
Ya. Khitriy, I. Tymchenko
National University of Food Technologies

Key words:

CFD modeling
Venturi scrubber
Dust collection
Hydrodynamics
Nozzle

Article history:

Received 10.05.2024
Received in revised form
27.05.2024
Accepted 08.07.2024

Corresponding author:

V. Ponomarenko

E-mail:

vponomarenkov@ukr.net

Citation: Пономаренко В. В., Люлька Д. М., Якобчук Р. Л., Слюсенко А. М., Лементар С. Ю., Хитрий Я. С., Тимченко І. В. (2024). Оптимізація конструкції вузлів підведення рідини в скруббер Вентурі на основі CFD досліджень. *Наукові праці НУХТ*, 30(3), 101—116.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-10

ABSTRACT

In food industry processes related to drying, grinding, etc., dust is generated, posing sanitary, environmental, and technological problems: negative impact on human health, environmental pollution, and loss of valuable raw materials with the dust. Solution of these problems depends on comprehensive improvement of dust collection equipment operation. One of the primary and effective elements of such equipment is the Venturi scrubber.

The aim of this work is to determine the rational design of nozzles for axial distribution of liquid at the scrubber inlet and peripheral supply through holes in the throat to ensure minimal and sufficient wetting density. This will allow maximal wetting of dust particles and their subsequent removal.

To achieve this goal, computational fluid dynamics (CFD) methods implemented in the ANSYS CFX software package were used. The operation of nozzles of three types was investigated: jet, centrifugal-jet, and centrifugal. Their three-dimensional models were developed, and according to the generally accepted research algorithm, a methodology for adjusting the program modules to implement this task was provided. The specifics of module adjustment when studying scrubbers with different structural designs of liquid supply nodes were presented in solving the problem of rational design of liquid supply nodes in the scrubber.

The results of calculations allowed selecting centrifugal-jet nozzles placed along the axis of the scrubber to wet its throat as an efficient option. Uniform distribution of liquid across the cross-section and length is possible to reduce liquid consumption by half. Investigation of the structural design of peripheral liquid supply showed that placing inlet holes in the middle of the throat was not rational, as zones of vortex flows occurred along the inlet edges of the throat, and concentration equalization of liquid occurred at its outlet. A more rational option for peripheral liquid supply was its supply through holes made in the throat at a distance of 0.1...0.2 from its beginning.

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ВУЗЛІВ ПІДВЕДЕННЯ РІДИНИ В СКРУБЕР ВЕНТУРИ НА ОСНОВІ CFD ДОСЛІДЖЕНЬ

В. В. Пономаренко, Д. М. Люлька, Р. Л. Якобчук, А. М. Слюсенко,
С. Ю. Лементар, Я. С. Хитрий, І. В. Тимченко
Національний університет харчових технологій

У процесах харчової промисловості, пов'язаних із сушінням, подрібнення тощо, утворюється пил, що створює проблеми санітарного, екологічного й технологічного характеру (негативний вплив на здоров'я людини, забруднення навколишнього середовища та втрата цінної сировини із пилом). Вирішення цих проблем залежить від комплексного вдосконалення роботи пилоочисного обладнання. Одним з основних та ефективних елементів такого обладнання є скруббер Вентури.

Метою дослідження є визначення раціональної конструкції форсунок для осьового розподілення рідини на вході в скруббер і периферійного її підводу через отвори в горловині для забезпечення мінімальної та достатньої густини зрошення. Це дасть змогу максимально змочити пилові частинки та в подальшому їх виділити.

Для досягнення поставленої мети використано методи обчислювальної гідродинаміки (CFD), реалізовані в програмному пакеті ANSYS CFX. Досліджено роботу форсунок трьох типів: струминної, відцентрово-струминної та відцентрової. Розроблено їх тривимірні моделі і згідно із загальноприйнятим алгоритмом досліджень приведено методіку налаштування модулів програми для реалізації цього завдання. Особливості налаштування модулів при дослідженні скрубберів з різним конструктивним виконанням вузлів підводу рідини описані при вирішенні задачі раціонального конструктивного виконання вузлів підводу рідини в скруббер.

Отримані результати числових розрахунків дали змогу вибрати відцентрово-струминні форсунки, розміщені по осі скруббера для зрошення його горловини, як ефективний варіант. Рівномірний розподіл рідини по поперечному перерізу та по довжині можливий для зменшення витрати рідини вдвічі. Дослідження конструктивного виконання периферійного підведення рідини показали, що виконання підвідних отворів посередині горловини не є раціональним, оскільки вздовж вхідних кромek горловини виникають зони вихрових течій, а вирівнювання концентрації рідини відбувається на її виході. Більш раціональним варіантом периферійного підведення рідини є її підведення через отвори, що виконані в горловині на відстані $0,1 \dots 0,2$ від її початку.

Ключові слова: CFD-моделювання, скруббер Вентури, пиловловлювання, гідродинаміка, форсунка.

Постановка проблеми. У цукровій промисловості для сушіння цукру переважно використовуються двобарабанні сушильно-охолоджувальні установки, в які подається сушильний або охолоджувальний агент протитоком. Також відомі

сушарки з псевдозрідженим станом і віброустановки. У всіх випадках відбувається рух кристалів цукру, що спричиняє їх взаємодію з обладнанням та один з одним, призводячи до подрібнення й утворення пилу. Кристали втрачають якість через співударя, що спричиняє помутніння граней.

Під час транспортування висушеного й охолодженого цукру, пересипання з одного транспортера на інший та потрапляння в бункер продовжуються процеси пилоутворення. Враховуючи значні об'єми повітря, використовувані для сушіння цукру, сумарна потужність цих пиловиділень у загальному балансі аерозольних забруднень атмосфери становить помітну величину. Пилові викиди є небезпечними через можливість вибуху, отруєння та розвиток професійних захворювань, а також мають негативний вплив на навколишнє середовище.

Згідно з типовою технологічною схемою, сушильні й охолоджувальні агенти та аспіраційні викиди обов'язково підлягають очищенню. Проте втрата цукру разом з викидами повітря в атмосферу становить від 0,1% до 0,4% від його виробництва (Mahniuk et al., 2018).

Небезпечність цукрового пилу в пожежному відношенні визначається його високою концентрацією. Мінімальна концентрація пилу в повітрі, необхідна для вибуху, складає 8,9 г/м³ (Kuracina et al., 2018).

Боротьба з пиловиділенням пов'язана з вирішенням низки завдань, включаючи максимальне підвищення ефективності пиловловлюючого обладнання. Вибір відповідного типу пиловловлювача вирішується ретельним вибором, що забезпечить нормовану очистку викидів, високу надійність та економічність. Таке досягнення можливе завдяки комплексу експериментальних і комп'ютерних досліджень процесів на всіх етапах розроблення обладнання, що дає змогу оптимізувати його конструкцію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основні потоки цукрового пилу утворюються в сушарках та під час перевантаження на будь-яких пристроях на шляху до бункерів зберігання, а також під час завантаження в сам бункер. Після центрифугування температура цукру-піску становить 60—70 °С, а вологість — 0,5%. Після сушіння температура повинна бути 20—25 °С, а вологість — 0,03—0,05% при безтартному зберіганні (волога знаходиться на кристалах цукру в плівці). Такі параметри обумовлюють вибір сушарок в Україні, переважно барабанного типу з різноманітними насадками всередині. Аналогічні сушарки використовуються також на деяких заводах Європейського Союзу (Asadi et al., 2006).

Цукор лопатками, які нерухомо прикріплені до обертаючого барабана, піднімається на певну висоту та зсипається вниз, контактуючи із сушильним агентом. При падінні з висоти кристали цукру взаємодіють з внутрішніми елементами сушарки та між собою, що спричиняє подрібнення й утворення пилу всередині сушарки з концентрацією 70—130 мг/м³.

Утворення пилу спостерігається також у місцях перевантаження цукру на транспортери (концентрація цукрового пилу 61—90 мг/м³) та завантаження в силос (концентрація пилу досягає значень 194—290 мг/м³) (Thorpe et al., 1985).

Сушильний агент та аспіраційні відсоси очищаються від цукрового пилу в пилеочисниках різних конструкцій (Bulygin et al., 2018), після чого викидаються в

атмосферу. Робота аспіраційного обладнання характеризується ступенем вловлювання пилу на рівні 80—90%, залежно від типу встановленого обладнання (Malmi et al., 2014). Головним чином використовується мокрий спосіб очищення, який передбачає подачу рідини в активну зону.

Також застосовують комбіновані методи очищення повітря: спочатку цукровий пил вловлюється в циклонах, а потім застосовується мокрий спосіб для остаточного очищення (Ali et al., 2013).

Ефективність вловлювання пилу мокрим способом залежить від ефективної роботи кожної одиниці обладнання очисної установки (Озарків et al., 2016). При очищенні великих об'ємів газу, зазвичай, його подають знизу в циліндричну ємність, в якій різноманітними способами по поперечному перерізу розподіляється рідина. Такий метод є енергозатратним, оскільки рівномірно розподілити рідину проблематично. Застосовують як гравітаційне розподілення рідини, так і її розпилення кількома форсунками.

У першому випадку краплі рідини великі (кілька міліметрів). При достатньо високому ступені зрошення з урахуванням прямолінійності траєкторій крапель ефективність зіткнень частинок пилу з ними невелика. Таке обладнання має невисокий ступінь вловлювання пилу.

Заміна пристроїв гравітаційного розподілення рідини на гідравлічний спосіб розпилення за допомогою форсунок дає змогу отримати мілкофракційний склад крапель рідини, а отже, більш рівномірно розподілити її по поперечному перерізу (Пономаренко et al., 2015; Жао et al., 2012). При розміщенні кількох форсунок необхідно вирішити такі завдання:

- визначити конструкцію форсунки, що відповідає вимогам енергоефективності та забезпечує дрібнодисперсний склад крапель по поперечному перерізу факела розпилення;

- виконати оптимальне розміщення форсунок в обладнанні для отримання необхідного та достатнього ступеня зрошення при забезпеченні рівномірності розподілення рідини по його поперечному перерізу.

Для забезпечення зазначених умов необхідно диспергувати достатньо великі об'єми рідини, що само по собі є енергозатратним. Тому більш доцільним при вловлюванні пилу є зволоження запиленого газу безпосередньо в трубопроводі при його підводі в пиловловлювач шляхом встановлення форсунки або ежектора рідини периферійною зоною. Такий принцип використовується в скруберах Вентурі (Husted et al., 2009), які забезпечують високу ефективність очищення аерозолів від частинок середнього розміру 1...2 мкм із початковою концентрацією домішок до 100 г/м³ та є одним з найефективніших елементів обладнання в установці вловлювання пилу.

Круглі скрубери Вентурі застосовують за витрат газу до 80000 м³/год. За більших витрат і більших розмірів труби можливості рівномірного розподілу зрошувальної рідини поперечним перерізом труби погіршуються, тому застосовують декілька паралельно працюючих круглих труб або труби прямокутного перерізу.

У конфузори газ розганяється від вхідної швидкості 15...20 м/с до швидкості 30...200 м/с у вузькому перерізі. Процес осадження частинок пилу на краплях рідини забезпечується розвинутою поверхнею крапель, високою відносною швид-

кістю руху частинок рідини і пилу в конфузорі. Питомі витрати води на зрошення — $0,1 \dots 6 \text{ дм}^3/\text{м}^3$. Ефективність пиловловлювання у скруберах підвищується зі збільшенням швидкості газів у горловині щільності зрошення (Ali et al., 2017).

Оптимальне співвідношення швидкості газів у горловині труби і щільності зрошення визначають для кожного виду пилу; воно залежить від його дисперсного складу. При вловлюванні частинок пилу, розміри яких менше $0,1 \text{ мкм}$, великого значення набуває тривалість контакту запиленого газу з поверхнею диспергової рідини. У цьому разі підвищення ефективності досягається за рахунок зниження швидкості газів до 50 м/с і збільшення щільності зрошення (Kuracina et al., 2018).

Залежно від способу підводу зрошувальної рідини в скрубери Вентурі розрізняють такі типи апаратів: із центральним підведенням рідини в конфузори, з периферійним зрошенням (у конфузорі та/або в горловині), з плівковим зрошенням, із безфорсунковим та форсунковим зрошенням.

У скрубери Вентурі повинно бути забезпечено максимальну ефективність змочування пилових частинок, що прямо залежить від рівномірності розподілення рідини по поперечному перерізу конфузора та горловині труби Вентурі. Однак вибору схеми підводу рідини, безпосередньо вибору типу форсунок і конструктивному виконанню приділяється недостатньо уваги (Plaza et al., 2014). Конструктивні прорахунки знижують ефективність роботи обладнання при високих витратах рідини, що збільшує відносну вартість очищення.

Для розділення суміші (рідини від повітря) після скрубера Вентурі застосовують в основному відцентровий спосіб розділення в циклонах різного типу. Циклони за більш ніж столітню історію свого існування є одними з найбільш розповсюджених апаратів як для вловлювання пилу, так і в випадках розділення фаз. Ефективність вловлювання твердих частинок в них досягає $99,6\%$. Їх перевагами є висока ефективність очищення, низькі енергозатрати та простота конструкції. До недоліків відносять недостатньо високий ступінь очищення пилу з розмірами частинок менше 10 мкм (Ali et al., 2013; Tomaszewski et al., 2020), тому застосування тільки циклонів при сухому способі очищення сушильного агента від цукрового пилу недостатнє. Рідина, яка використовується для очищення повітря від пилу, направляється для повторного уварювання для отримання кристалічного цукру.

Якісно очистити повітря сухим способом від пилу можна при застосуванні волокнистих фільтрів або електрофільтрів. Однак самі фільтрувальні установки займають достатньо велике місце в цеху, потребують додаткового обслуговування. Якщо є загроза вибуху, то електрофільтри використовувати заборонено.

Мета статті: дослідження впливу конструктивного виконання системи підведення рідини на рівномірність її розподілення по поперечному перерізу труби Вентурі.

Матеріали і методи. Для покращення ефективності аспірації повітря та зменшення навантаження на пилоочисне обладнання, зокрема циклони, необхідно забезпечити оптимальну роботу скрубера Вентурі. Для вирішення поставленого завдання необхідно провести дослідження впливу конструктивного виконання системи підведення рідини на рівномірність її розподілення по поперечному пере-

різу труби Вентурі. Пропонується використовувати методи обчислювальної гідродинаміки (CFD), реалізовані у програмному пакеті ANSYS CFX. Дослідження складається з двох етапів: перший — вивчення факела розпиленої рідини з різноманітними конструкціями форсунок для вибору найбільш раціонального розпилювача для подальшого використання у скрубєрі Вентурі; другий — аналіз течії потоків у трубі Вентурі для визначення оптимального конструктивного виконання системи підведення рідини в скрубєр.

Традиційно у скрубєрі Вентурі підведення рідини здійснюється або периферійно, або через форсунку, що встановлена по його осі. Для визначення раціонального типу форсунки, який забезпечить рівномірне розподілення рідини по поперечному перерізу факела, і відповідно, дасть змогу досягти найкращого зволоження частинок, було обрано три типи форсунок (рис. 1): струминну, відцентрово-струминну та відцентрову. На прикладі відцентрово-струминної форсунки відмітимо дії, які були виконані для моделювання гідродинаміки факела розпилення форсунок.

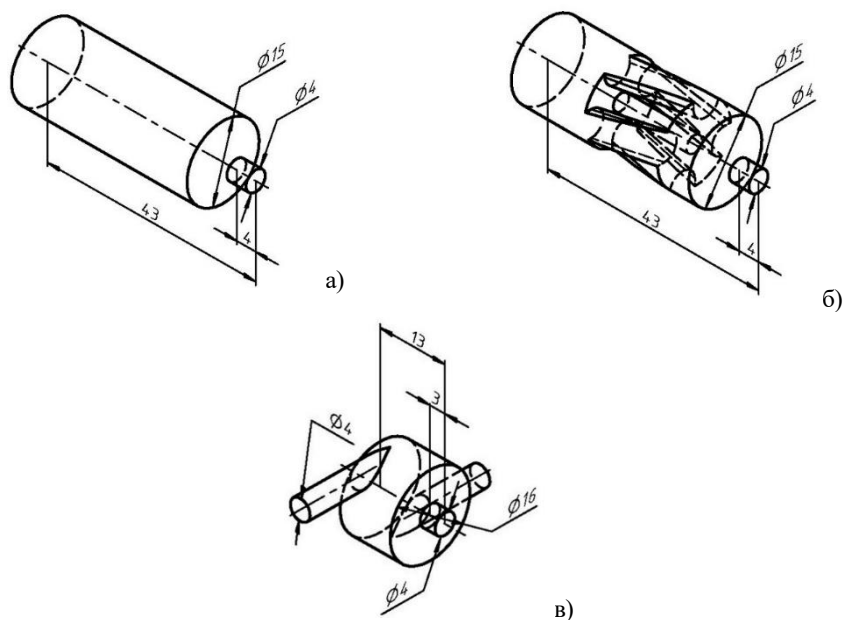


Рис. 1. Моделі досліджуваних форсунок: а — струминна форсунка; б — відцентрово-струминна форсунка; в — відцентрова форсунка

Для проведення CFD-дослідження було створено твердотільну розрахункову область, що включає в себе форсунку та зону для моделювання факела розпилення (рис. 2). Розроблена розрахункова сітка складається з тетраїдальних комірок із середнім розміром ребра 4 мм.

Основні параметри розрахунку включають:

- тип задачі визначено як нестационарна («Transient»);
- встановлено тривалість розрахунку («Total Time») на рівні 0,5 секунди та часовий крок («Timesteps») 0,001 секунди;

- робочі середовища — вода та повітря, з атмосферним тиском 101325 Па та температурою 25 °С;

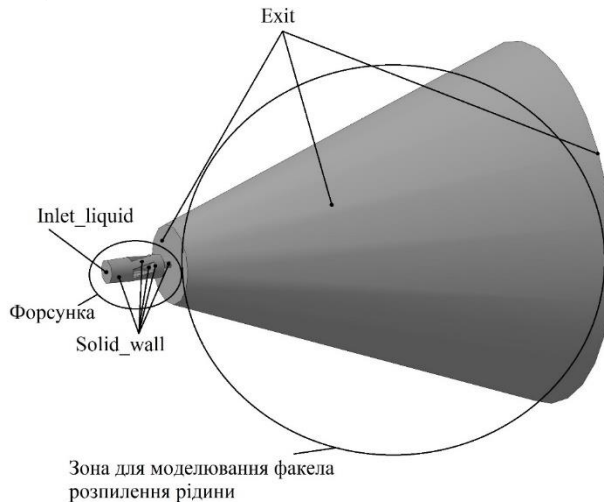


Рис. 2. Розрахункова область та поверхні, до яких прикладаються граничні умови

- враховано прискорення вільного падіння, коефіцієнт поверхневого натягу води та коефіцієнт опору краплі в газовому середовищі ($Cd = 0,44$);
- для врахування турбулентності потоку використано модель $k-\epsilon$, яка забезпечує компроміс між точністю результатів, тривалістю розрахунку та вимогами до розрахункової сітки;
- моделлю є двофазна система з інтенсивним обміном енергії та маси між середовищами, використано модель Ейлера «Mixture».

Задано початкові умови: нульова швидкість, атмосферний тиск та об'ємна частка повітря рівна 1 (100%) по всій розрахунковій області.

Граничні умови включають вхід рідини у форсунку («Inlet_liquid»), стінку форсунки («Solid_wall») та вихід («Exit»). Масова витрата рідини складає 0,2 кг/с.

Для граничної умови «Solid_wall» використано тип «Wall» (тверда стінка) та параметр «No-slip wall». Для граничної умови «Exit» використано тип «Opening» та встановлено атмосферний тиск. Початково в цій зоні міститься лише повітря, і його об'ємна частка становить 1, води — 0. Критерій збіжності результатів встановлено на рівні 0,0001.

У контексті моделювання гідродинаміки потоків у скрубєрі Вентурі розглянуто три варіанти підведення рідини (рис. 3): периферійне через отвори в конфузорі та горловині труби Вентурі (рис. 3, а), центральне через форсунку (рис. 3, б), комбіноване — через форсунку та отвори в конфузорі та горловині труби Вентурі (рис. 3, в).

На прикладі скрубєра Вентурі з периферійним підведенням рідини відмітимо дії, які були виконані для моделювання гідродинаміки потоків у всіх скрубєрах.

Створено тривимірну твердотільну модель скрубера Вентурі (рис. 4) та визначено розрахункову сітку, яка складається з тетраїдальних комірок із середнім розміром ребра 4 мм.

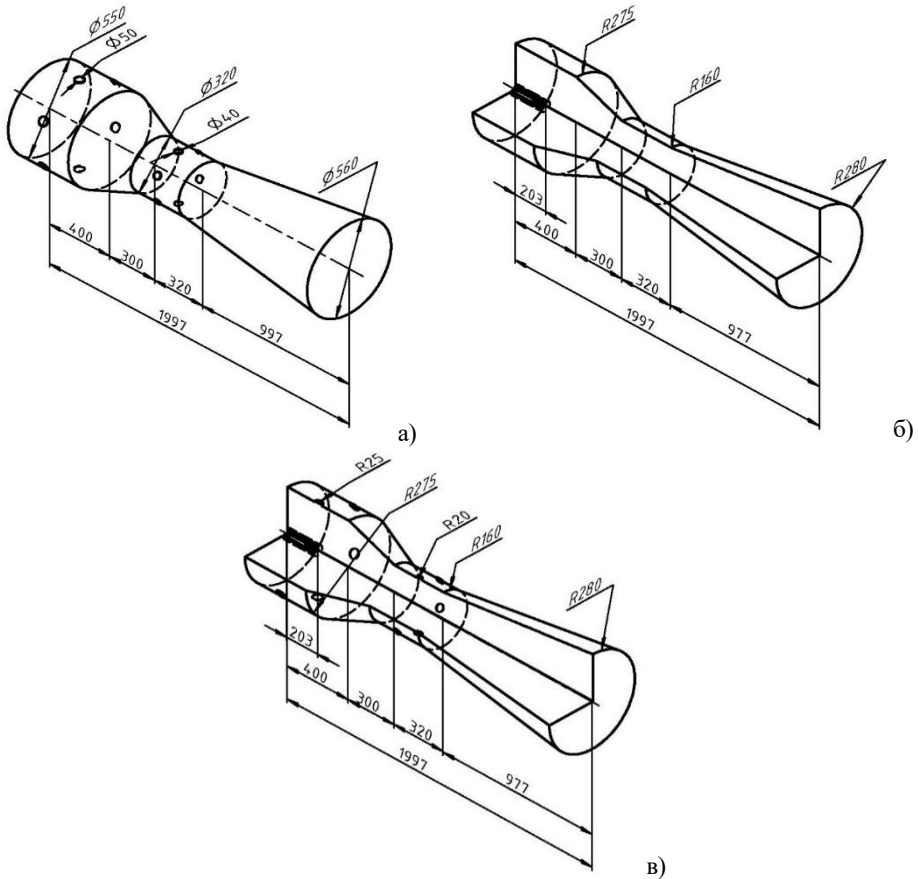


Рис. 3. Моделі досліджуваних труб Вентурі: а — периферійне підведення рідини; б — підведення рідини через форсунки; в — комбіноване підведення рідини

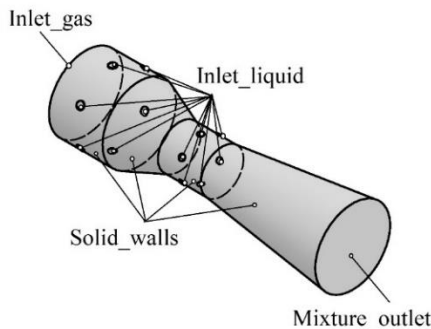


Рис. 4. Розрахункова область і поверхні, до яких прикладаються граничні умови

Налаштування для моделювання скрубера Вентурі аналогічні тим, що використовувалися для моделювання форсунки, з незначними відмінностями в граничних умовах.

При моделюванні розглядається робота скруберів Вентурі для очищення $16,000 \text{ м}^3/\text{год}$ запиленого повітря, що відповідає продуктивності типового скрубера для цукрового виробництва (Khadra et al., 2022). Витрата рідини прийнята з розрахунку $0,5 \text{ л}$ води на оброблення 1 м^3 газу.

Гранична умова «Inlet_gas» вибрана як «Inlet» з масовою витратою газу 5 кг/с . Параметри моделі турбулентності для граничної умови «Inlet_gas»: $k = 0,05$, $\varepsilon = 10$. Об'ємна частка води для цієї умови дорівнює 0 , для повітря — 1 .

Гранична умова «Inlet_liquid» представляє вхід рідини у скрубер. При моделюванні роботи скруберів Вентурі з периферійним підведенням рідини та центральним через форсунку витрата рідини складала $1,67 \text{ кг/с}$, а при комбінованому підведенні (периферійне та центральне) по $0,835 \text{ кг/с}$ через форсунку і периферійні підвідні патрубки.

Гранична умова «Mixture_outlet» вибрана як «Outlet». Для граничної умови «Solid_walls» обрано тип умови «Wall» з параметром «No-slip wall».

Результати і обговорення. Аналіз результатів комп'ютерного дослідження форсунки струминного типу, яке виконано за допомогою CFD ANSYS моделювання, надає можливість отримати важливі якісні та кількісні характеристики факела розпилення. Це ключовий етап у визначенні оптимального конструювання обладнання для досягнення ефективної роботи при мінімальних часових і матеріальних витратах.

На рис. 5 представлений контур об'ємної частки рідини по довжині факела розпилення при витраті $0,2 \text{ кг/с}$. Ця візуалізація дає змогу оцінити розподіл рідини в просторі та визначити, наскільки ефективно форсунка розпилює рідину.

Аналізуючи факел розпилення струминної форсунки, слід зазначити, що він відзначається невеликим кутом розширення та диспергуванням крапель рідини на значній відстані від сопла форсунки.

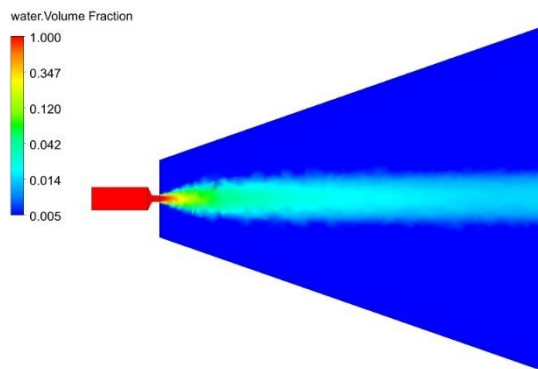


Рис. 5. Розподілення рідини по довжині факела розпилення струминної форсунки

На рис. 6 представлено розподілення рідини у факелі розпилення відцентрової форсунки при тій самій витраті $0,2 \text{ кг/с}$.

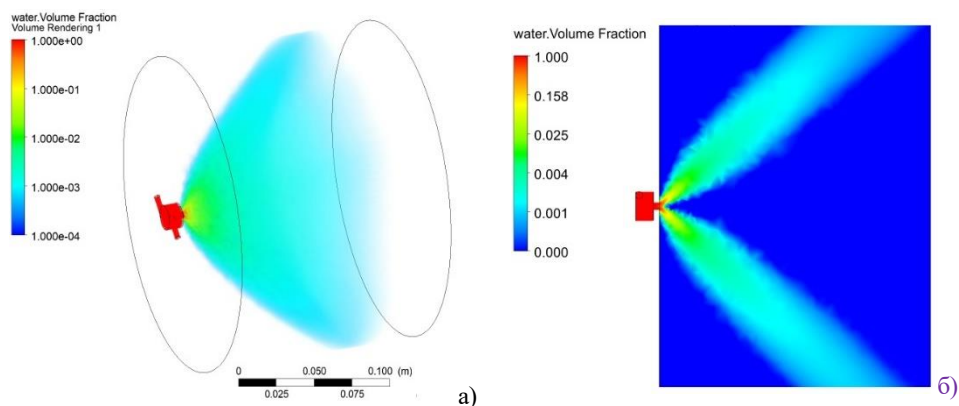


Рис. 6. Розподілення рідини у факелі розпилення відцентрової форсунки: а — по довжині; б — у поперечному перерізі

Факел розпилення відцентрової форсунки має кут розширення приблизно 90° , диспергування крапель відбувається на малій відстані від сопла. Центральна частина факела розпилення майже не заповнена краплями рідини, що породжує сумніви щодо доцільності її встановлення в пилоочисному обладнанні через обмежений час контакту із запиленним повітрям.

Аналогічні дослідження проведено для відцентрово-струминної форсунки, а результати розподілення об'ємної частки рідини по довжині факела розпилення представлені на рис. 7.

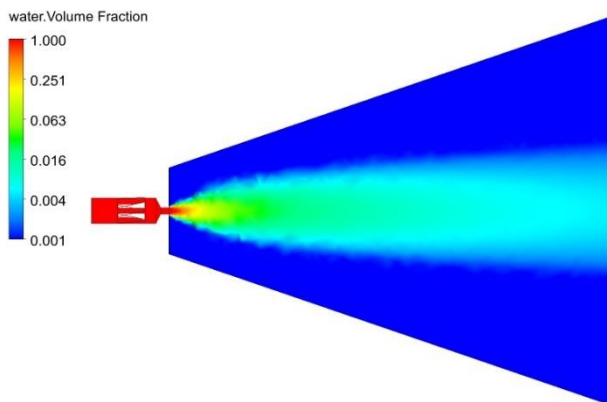


Рис. 7. Контур об'ємної частки рідини для відцентрово-струминної форсунки

Запропоновані результати однозначно підтверджують переваги відцентрово-струминних форсунок, оскільки лише вони забезпечують рівномірне розподілення крапель рідини по поперечному перерізу факела розпилення та належний кут розпилення. Ці переваги дають змогу однорідно розподілити рідину по поперечному перерізу обладнання, уникнувши областей застою та «проскоку» газової фази.

Але представлені дослідження не будуть повними, якщо не розглядати роботу пилоочисного обладнання як одного цілого. Оскільки за основу прийнятий

скрубер Вентурі, проведемо моделювання, що дає змогу отримати картину розподілення рідкої фази по поперечному перерізу та по його довжині. Це надасть можливість попередньо оцінити ефективність вловлювання пилових частинок, оскільки найбільш досконала система розподілення рідини сприяє більш повному змочуванню пилових частинок, а отже, і видаленню їх з пилового потоку внаслідок збільшення їх інерційної складової.

Оскільки відомі скрубери Вентурі з різними варіантами підводу рідини, проаналізуємо ці схеми на основі комп'ютерного моделювання.

1. Найбільш простою схемою розподілення рідини є її ежектування через отвори, що виконані в горловині та (або) в конфузорі (рис. 8). При такому способі підведення рідини досягається доволі рівномірний розподіл рідини по поперечному перерізу. Однак:

- вирівнювання концентрації рідини відбувається майже на виході з горловини Вентурі;
- вхідні отвори для рідини в горловині повинні бути розміщені ближче до її початку (на моделі це зона синього кольору).

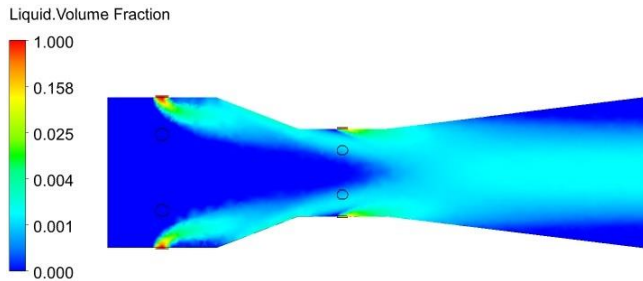


Рис. 8. Розподілення рідини у трубі Вентурі при периферійному підведенні рідини

Програма ANSYS надає можливість отримати результати щодо розподілення швидкостей і ліній течії окремо для газової та рідкої фаз. На рис. 9 (а) представлено розподілення швидкості, а на рис. 9 (б) — лінії течії газової фази в трубі Вентурі.

З наведених досліджень можна отримати уявлення про розподілення швидкості й траєкторії руху газу, а також отримати їх чисельні значення. Швидкість газу максимальна вздовж осі пиловловлювача і досягає 60 м/с, тоді як рідка фаза відтісняється до стінок горловини.

2. Підведення рідини виконано через форсунку в центральній частині конфузора. Вибір типу форсунки, ґрунтуючись на попередніх дослідженнях, очевидний: перевагу слід надавати відцентрово-струминним форсункам. Розподілення об'ємної концентрації рідини по поперечному перерізу представлено на рис. 10. Таке підведення рідини дає змогу зменшити гідравлічний опір обладнання, оскільки траєкторії руху газу та рідини збігаються при мінімальній відносній швидкості.

Спостерігається рівномірне розподілення рідини по поперечному перерізу і вже на вході в горловину пиловий потік активно контактує з мілкодисперсними краплями рідини, що отримують на виході із сопла форсунки.

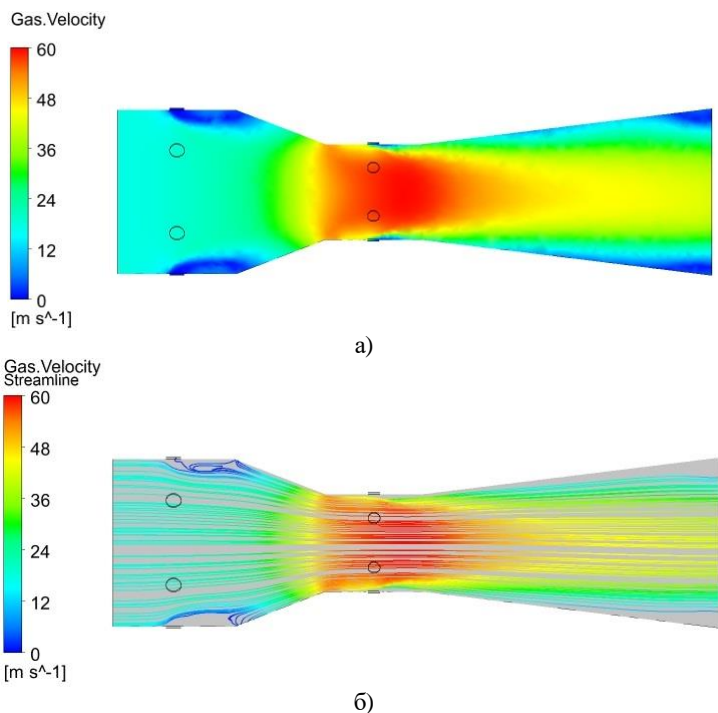


Рис. 9. Швидкість руху та лінії току газової фази в трубі Вентурі при периферійному підведенні рідини: а — швидкість газу; б — лінії току

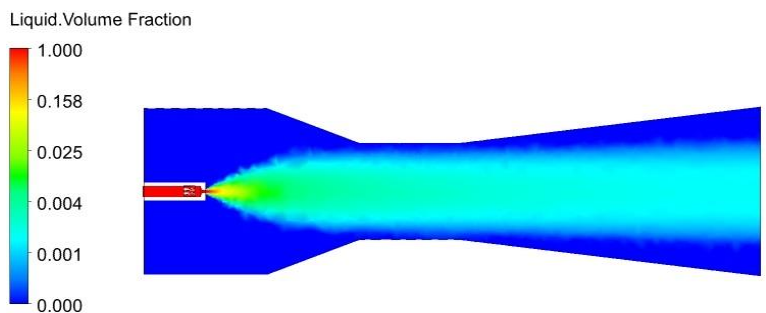


Рис. 10. Розподілення рідини у трубі Вентурі при її підведенні через відцентрово-струминну форсунку

Однак і така схема підводу рідини має недолік, який полягає в тому, що периферійна частина рідинного потоку відтісна від стінок горловини газом. Частина пилового потоку може пройти через пиловловлювач без достатнього зволоження.

На рис. 11 представлено розподілення швидкості газової фази в трубі Вентурі при підводі рідини по осі в конфузорі.

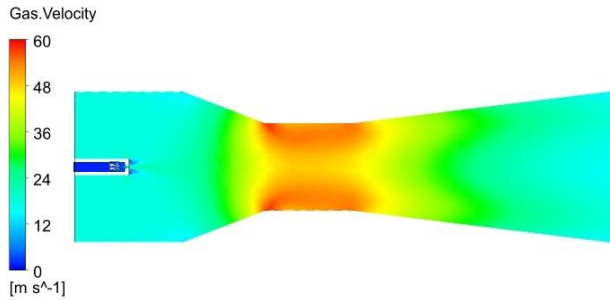


Рис. 11. Швидкість газової фази в трубі Вентурі при підведенні рідини через відцентрово-струминну форсунку

Унаслідок заповнення середини горловини труби Вентурі краплями диспергованої рідини, які рухаються з меншою швидкістю, ніж газовий потік, швидкість газу знижується до 45 м/с, а біля стінок горловини швидкість досягає 55 м/с, що підтверджує недостатню ефективність такої схеми зволоження пилу, оскільки периферійна частина газового потоку недостатньо оброблена.

На рис. 12 представлено результати моделювання комбінованого підводу рідкої фази в конфузур і горловину та в центральну частину труби Вентурі відцентрово-струминною форсункою.

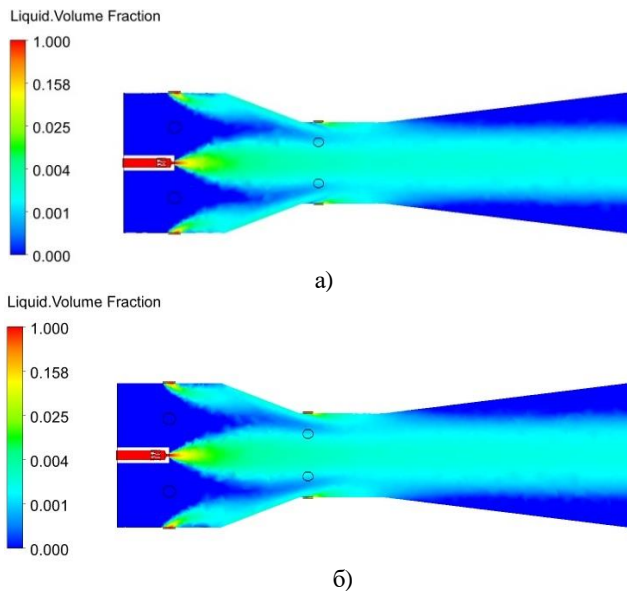


Рис. 12. Розподілення рідини у трубі Вентурі при комбінованій подачі рідини та симетричній витраті 0,835 кг/с через периферійні отвори та відцентрово-струминну форсунку: а — отвори в горловині виконані на відстані 0,2 її довжини; б — отвори в горловині виконані на відстані 0,1 її довжини

При моделюванні враховано результати попередніх досліджень і підвідні периферійні отвори в горловині перенесено на відстань 64 мм (20% від довжини

горловини) від її початку (рис. 12, а) та на відстань 32 мм (10% від довжини горловини) (рис. 12, б).

Як видно з наведених даних, при зміщенні вхідних отворів на відстань 10...20% від початку горловини значно покращується розподілення рідини в ній, ліквідовано застійні зони. Варто зазначити, що дані розподілення рідини в горловині Вентури отримані при витраті рідини через відцентрово-струминну форсунку 0,835 кг/с, витраті рідини через отвори в горловині — 0,835 кг/с, витраті газу — 5 кг/с.

Аналіз результатів моделювання показує, що найкращий розподіл рідини по поперечному перерізу вловлювача досягається в останньому випадку при комбінованому підведенні рідини: центральному через відцентрово-струминну форсунку та периферійному при подачі рідини через отвори в конфузурі та горловині Вентури. Вибір раціональної схеми подачі рідини та можливість отримання її рівномірного розподілення по поперечному перерізу спонукає до вирішення наступного питання: чи можливо зменшити витрату рідини без погіршення рівномірності зрошування?

Було проведено моделювання розподілення потоків рідини при витраті її через периферійні отвори в горловині Вентури 0,835 кг/с та витраті 0,42 кг/с через сопло форсунки. При зменшенні подачі рідини діаметр сопла форсунки повинен бути зменшено з 10 мм до діаметра 7 мм. При цьому дисперсність крапель рідини не погіршується, оскільки тиск, при якому відбувається розпилення рідини залишиться сталим (0,25 МПа). На рис. 13 показано результати моделювання комбінованого підводу рідкої фази в конфузур і горловину та в центральну частину труби Вентури відцентрово-струминною форсункою при зменшеній в два рази подачі рідини. На рис. 13, а підвідні канали зміщені на 64 мм (20% від довжини горловини) від її початку, а на рис. 13, б на відстань 32 мм (10% від довжини горловини).

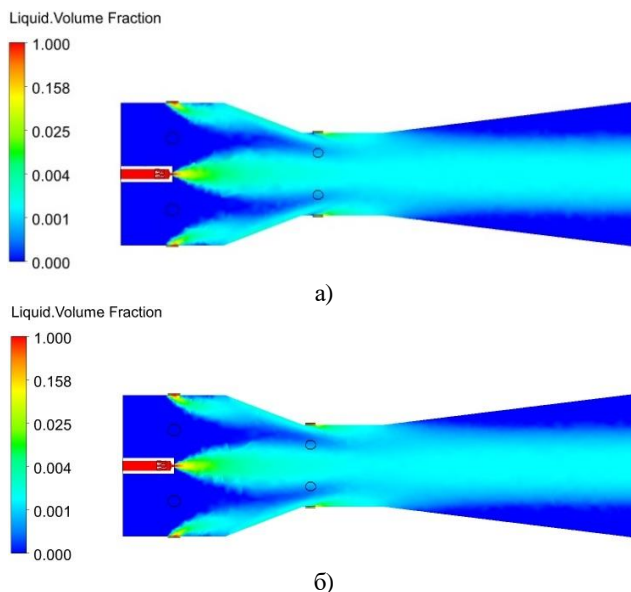


Рис. 13. Розподілення рідини у трубі Вентури при комбінованій подачі рідини та витраті 0,835 кг/с через периферійні отвори та 0,42 кг/с через відцентрово-струминну форсунку: а — отвори в горловині виконані на відстані 0,2 її довжини; б — отвори в горловині виконані на відстані 0,1 її довжини

Порівняння графіків розподілення рідини рис. 12, а, б при її рівномірній витраті 0,835 кг/с через периферійні отвори і форсунку та рис. 13, а, б при витраті 0,835 кг/с через периферійні отвори та зменшеній в два рази витраті через форсунку показує задовільні результати. По поперечному перерізу горловини труби Вентури краплі рідини рівномірно розподілені, зон «проскоку» газової фази не спостерігається. Це підтверджує можливість зменшення витрати рідини.

Висновки

Комп'ютерне моделювання, здійснене в рамках дослідження, виявилось ефективним інструментом для точного відбору форсунок і візуалізації картини течії, сприяючи продуктивній роботі інженера та економії ресурсів.

За результатами дослідження рекомендується використовувати відцентрово-струминні форсунки для зволоження пилових викидів. Важливо також розташовувати периферійні отвори для подачі рідини в горловину труби Вентури на відстані 0,1...0,2 від її початку, що запобігає утворенню застійних зон.

Визначено можливість ефективного зменшення витрати рідини на форсунці вдвічі без втрати рівномірності її розподілення.

Проведені дослідження підтверджують покращення гідравлічного опору та забезпечують достатній час контакту фаз, що позитивно впливає на ефективність вловлювання пилу.

Подальші дослідження будуть направлені на визначення залежностей ефективності вловлювання пилу від витрати рідини та рівномірності зрошення з метою подальшого вдосконалення технології.

Література

Mahniuk, V. M., Peleh, L. V., Melnichenko, S. A., & Petrov, Y. A. (2018). Hygienic assessment of the influence environmental impact of enterprises during the introduction of new modern technologies in sugar factories. *Hygiene of Populated Places*, (68), 37—45. <https://doi.org/10.32402/hygiene.2018.68.037>.

Kuracina, R., Szabová, Z., & Menčík, M. (2018). Determination of explosion characteristics of sugar dust clouds. *TRANSACTIONS of the VŠB — Technical University of Ostrava, Safety Engineering Series*, 13(1), 15—20. <https://doi.org/10.2478/tvsbses-2018-0003>.

Asadi, M. (2006). *Beet-Sugar handbook*. Wiley & Sons, Incorporated, John.

Thorpe, D. G. L., Singh, S., Cartwright, P., & Bailey, A. G. (1985). Electrostatic hazards in sugar dust in storage silos. *Journal of Electrostatics*, 16(2—3), 193—207. [https://doi.org/10.1016/0304-3886\(85\)90042-7](https://doi.org/10.1016/0304-3886(85)90042-7).

Bulygin, Y. I., Azimova, N. N., & Kuptsova, I. S. (2018). Problems of designing dust cleaning equipment in the industry. *Safety of Technogenic and Natural Systems*, 1—2, 2—12. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2018-1-2-2-12>.

Ali, M., Yan, C., Sun, Z., Gu, H., & Mehboob, K. (2013). Dust particle removal efficiency of a venturi scrubber. *Annals of Nuclear Energy*, 54, 178—183. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2012.11.005>.

Maalmi, M. (2014). Dust removal and collection techniques. *У Current environmental issues and challenges*, 137—157. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8777-2_8.

Озарків, І., Сомар, Г., Соколовський, І., Кобринович, М., Сомар, Т., & Левчунець, О. (2016). Основи мокрого очищення газів. *Науковий вісник НЛТУ України*, 26(4), 230—233. http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=nnvntu_2016_26.4_37.

Ponomarenko, V.; Pushanko, N. (2015). Sprays fluid: an effective way to intensify the processes in the food industry. LAP LAMBERT Academic Publishing: Saarbrücken, 2015.

Zhao, J., & Yang, L. (2012). Simulation and experimental study on the atomization character of the pressure-swirl nozzle. *Open Journal of Fluid Dynamics*, 02(04), 271—277. <https://doi.org/10.4236/ojfd.2012.24a032>.

Husted, B. P., Petersson, P., Lund, I., & Holmstedt, G. (2009). Comparison of PIV and PDA droplet velocity measurement techniques on two high-pressure water mist nozzles. *Fire Safety Journal*, 44(8), 1030—1045. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.07.003>.

Ali, H. (2017). Improvement of centrifugal wet scrubber design through laboratory experimentation and computational fluid dynamics [Thesis, Queensland University of Technology]. QUT ePrints. <https://eprints.qut.edu.au/112479>.

Plaza, Floren, Kent, Geoff, Rackemann, Darryn, & Stephens. (2014). Review and future options for computer modelling in the sugar industry. *Australian society of sugar cane technologists*, 288—297. <https://eprints.qut.edu.au/74758>.

Ali, M., Yan, C., Sun, Z., Gu, H., & Mehboob, K. (2013). Dust particle removal efficiency of a venturi scrubber. *Annals of Nuclear Energy*, 54, 178—183. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2012.11.005>.

Tomaszewski, A., Przybylinski, T., Kapica, P., & Lackowski, M. (2020). Influence of the spray scrubber geometry on the efficiency of dust removal — theoretical predictions and CFD analysis. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 13(4), 1055—1066. <https://doi.org/10.36884/jafm.13.04.30926>.

Khadra, H., Kouider, R., Toufik Tayeb, N., Al-Kassir, A., & Carrasco-Amador, J. P. (2022). Numerical simulation of the cleaning performance of a venturi scrubber. *Energies*, 15(4), 1531. <https://doi.org/10.3390/en15041531>.

STUDY OF THE HYDRODYNAMICS OF THE REACTION MASS IN A MIXER REACTOR

Y. Dolomakin, S. Beseda, O. Babanova, P. Porodko

National University of Food Technologies

Key words:

Reactor-mixer
CFD
Hydrodynamics
Simulation modeling
Mixing

Article history:

Received 13.05.2024
Received in revised form
30.05.2024
Accepted 10.06.2024

Corresponding author:

O. Babanova
E-mail:
petrikeyl@ukr.net

Citation: Доломакін Ю. Ю., Беседа С. Д., Бабанова О. І., Породько П. В. (2024). Дослідження гідродинаміки реакційної маси у реакторі-змішувачі. *Наукові праці НУХТ*, 30(3), 117—128.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-11

ABSTRACT

In the designing of pharmaceutical, biotechnology and chemical production facilities, the hardware design of technological processes is of great importance. The equipment has much in common with the equipment used in the chemical and food industries.

Mixing reactors are installed at various technological stages of production, as the mixing process plays an important role in technological process. Mixing makes the dissolution of substances, heat and mass transfer processes more efficient, accelerates reactions, and makes biosynthesis processes more effective.

When designing chemical reactors, the volume, flow rate, heat transfer surface, hydraulic resistance, catalyst replacement rate, design parameters, and operating modes required to achieve a given performance were determined.

When obtaining heterogeneous systems, the mixing efficiency can be characterized by the uniformity of the dispersed phase distribution in the dispersion medium, and when obtaining homogeneous systems, by the uniformity of the dissolved substances distribution in the solution. To intensify chemical, thermal, and diffusion processes in heterogeneous systems, conditions are created to supply a substance to the reaction zone, to the interface, or to the heat transfer surface.

In this work, the hydrodynamic characteristics of the mixed substance were investigated using the CAE software package. The program uses finite element calculations and allows modeling a physical process described by differential equations. The solution of the problem is based on the numerical solution of partial differential equations by the finite element method.

The process of mixing solid active pharmaceutical ingredients and excipients in a liquid dispersion medium, namely a mass of solid fat that becomes liquid when heat is applied through the walls of the structure, was considered.

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ РЕАКЦІЙНОЇ МАСИ У РЕАКТОРІ-ЗМІШУВАЧІ

Ю. Ю. Доломакін, С. Д. Беседа, О. І. Бабанова, П. В. Породько
Національний університет харчових технологій

У проєктуванні фармацевтичних, біотехнологічних і хімічних виробництв важливе значення має апаратне оформлення технологічних процесів. Обладнання має багато спільного з обладнанням галузей хімічної та харчової промисловості.

Реактори-змішувачі встановлюють на різних технологічних етапах виробництва, оскільки процес перемішування відіграє важливу роль у виробництві. Перемішування робить більш ефективними процеси розчинення речовин, процеси теплообміну, масообміну, прискорює перебіг реакцій, робить більш ефективними процеси біосинтезу.

При розрахунку хімічних реакторів визначаються необхідні для досягнення заданої продуктивності об'єм, швидкість потоку, поверхня теплообміну, гідравлічний опір, швидкість заміни каталізатора, конструктивні параметри, режими роботи.

При отриманні неоднорідних систем ефективність перемішування можна характеризувати рівномірністю розподілу дисперсної фази в дисперсійному середовищі, а при отриманні однорідних систем — рівномірністю розподілу розчинених речовин у розчині. Для інтенсифікації хімічних, теплових і дифузійних процесів у гетерогенних системах створюються умови для підводу речовини в зону реакції, до межі поділу фаз чи до поверхні теплообміну.

У статті досліджено гідродинамічні характеристики субстанції, що перемішується, за допомогою програмного комплексу САЕ. Програма використовує кінцево-елементні розрахунки та дає змогу моделювати фізичний процес, який описується диференціальними рівняннями. Розв'язання задачі базується на чисельному розв'язанні рівнянь у частинних похідних методом скінченних елементів.

Розглядається процес перемішування твердих активних фармацевтичних інгредієнтів та ексципієнтів у рідкому дисперсійному середовищі, зокрема масі, якою виступає твердий жир, що стає рідким при підводі тепла крізь стінки конструкції.

Ключові слова: реактор-змішувач, CFD, гідродинаміка, імітаційне моделювання, перемішування.

Постановка проблеми. Завдання дослідження гідродинаміки у робочому об'ємі реакторів для приготування реакційних мас, що використовуються у фармацевтичній промисловості, має неабияку актуальність. Особливе значення надається дослідженню траєкторії руху системи за різних режимів швидкості робочих органів. На основі аналізу робочих процесів цих систем усі види руху оброблюваного матеріалу можуть бути зведені до двох найбільш характерних рухів в'язкої ньютонівської рідини, якою виступає розплавлений твердий жир, і сипких компонентів, якими є активний фармацевтичний інгредієнт та ексципієнти.

У випадку гомогенізації, приготування суспензій, нагрівання чи охолодження гомогенного середовища, що перемішується, метою перемішування є зниження концентраційних або температурних градієнтів в об'ємі апарата.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературі, зазвичай, використовується трифазна модель для прогнозування складної гідродинаміки потоку газ-рідина-тверда фаза у реакторах з механічним перемішуванням, який є одним з найпоширеніших пристроїв завдяки своїй здатності забезпечувати перемішування і контакт між різними фазами. Важливим моментом при проектуванні та експлуатації реактора з перемішуванням є забезпечення повної однорідності суспензії твердої фази. Це означає, що жодні тверді частинки не повинні залишатися на дні реактора протягом тривалого часу. В основному розрізняють три типи стану суспензії: повна суспензія, гомогенна суспензія і неповна суспензія. За задумом, суспензія вважається повною, якщо жодна частинка не залишається в стані спокою на дні реактора більше 1 або 2 секунд. Визначення повної суспензії є критично важливим, оскільки тільки цей стан максимізує використання загальної площі поверхні твердих компонентів. Відповідні результати, представлені у цій статті, ґрунтуються на чисельному моделюванні, виконаному Паннерсельвом та ін. (Panneerselvam et al., 2008).

З фізичної точки зору, стан суспензії твердих частинок визначається гідродинамікою і турбулентною дією, що переважає в реакторі. Для розв'язання трьох наборів рівнянь, що визначають збереження маси та імпульсу, у більшості джерел застосовують стаціонарну трифазну модель (Aulisa et al., 2003; Biswas et al., 2005; Daru et al., 2004). Потік вважається ізотермічним, розглядається лише міжфазний обмін імпульсом. Керуючі рівняння дискретизуються за допомогою методу скінченних об'ємів, заснованого на елементах методом скінченних об'ємів. Зв'язок швидкості з тиском досягається за допомогою алгоритму Рі і Чоу. Для розв'язання рівнянь імпульсу й тиску використовується зв'язаний розв'язувач рівнянь імпульсу і тиску, які вирішуються ітераційно з турбулентними скалярними рівняннями в неявному вигляді до досягнення стаціонарного стану.

Турбулентна течія в реакторі розглядається за допомогою стандартної k - ϵ моделі з двома рівняннями для неперервної рідкої фази. У праці Мерфі (Murthy et al., 2007), де було проведено комп'ютерне моделювання гідродинаміки реактора з перемішуванням газ-рідина-тверде тіло, вплив газової і твердої фаз на рідку фазу і прогнозування величин турбулентності для твердих фаз були отримані з використанням теорії Тчена про диспергування дискретних частинок гомогенною турбулентністю. Це передбачає формулювання відповідних вихідних членів у скалярних турбулентних рівняннях. У праці (Panneerselvam et al., 2008) використали простіший підхід, застосувавши модель вихрової в'язкості Сато для турбулентності, індукованої бульбашками, і турбулентності, індукованої частинками, щоб урахувати вплив газових бульбашок і твердих частинок на рідинну турбулентність, а твердих частинок — на турбулентність рідкої фази.

У літературі розроблено різні моделі багатозфазних потоків для аналізу гідродинаміки газорідинних потоків у реакторі. Ці моделі отримані на основі усередненої за Рейнольдсом моделі Нав'є-Стокса (RANS). Методами моделювання багатозфазних течій є ейлерівсько-ейлерівський підхід, ейлерівсько-лагранжевський

підхід і методи VOF (Bothe et al., 2006). У методі Ейлера-Ейлера обидва середовища, включаючи рідку фазу і газову фазу, розглядаються як Ейлерові підходи, щоб уникнути більших обчислювальних витрат. Таким чином, об'ємні властивості рідини можуть бути усереднені в межах контрольного об'єму, також відомого як обчислювальна комірка. Крім того, цей підхід, зазвичай, використовується для оцінки гідродинаміки реактора для великомасштабної роботи. У випадку розподілу бульбашок за розмірами використовується метод популяційного балансу разом з методом Ейлера-Ейлера. Цей метод використовує набір рівнянь збереження для кожного класу бульбашок, враховуючи їх розпад і коалесценцію.

Мета дослідження: за допомогою імітаційного моделювання дослідити гідродинаміку реакційної маси в реакторі-змішувачі та надати рекомендації щодо його конструкції. Підвищення ефективності та працездатності змішувача є актуальною темою через значні витрати на процес змішування, ремонт обладнання та витрати часу на проведення процесу.

Матеріали і методи. Для моделювання потоків газ-рідина-тверде тіло в реакторі з механічним перемішуванням використовувався комерційний продукт *COMSOL Multiphysics*.

Моделювання стаціонарного стану проводилося для різних типів конфігурацій крильчатки, швидкостей перемішування, діаметрів частинок, концентрації твердих частинок і поверхневої швидкості газової фази. Для покращення збіжності моделювання багатозафазного потоку спочатку визначалося повністю розвинене поле однофазного потоку.

Викладення основних результатів дослідження. Для дослідження характеристик середньої швидкості руху тіл, що змішуються, і їх числа зіткнень можливе використання різного розрахункового програмного забезпечення, зокрема CFD-системи, в якій можна реалізувати процес руху тіл, що змішуються, і побудувати електронно-цифрову модель САЕ-системи та провести ряд чисельних експериментів. *COMSOL* є провідним на ринку програмним забезпеченням для моделювання гідродинаміки різних фаз і їх взаємодії один з одним та обладнанням.

Розглядається процес перемішування активних фармацевтичних інгредієнтів з масою, що є дисперсійним середовищем, якою є твердий жир (крихка воскоподібна маса білого або майже білого кольору). Температура плавлення жиру знаходиться у межах 33,5...35,5 °C. Для надання рідкого стану твердому жиру реактор у своїй конструкції має теплову сорочку.

Першим результатом було отримано поле та вектори швидкостей по висоті реактора. Як видно з рис. 1, умова ковзання призводить до того, що тангенціальна швидкість біля стінки відмінна від нуля, при цьому максимальна швидкість у перерізі реактора на ділянках ковзання менша, ніж на ділянках з умовою прилипання. В результаті в областях, суміжних з ділянками границі, на яких змінюються граничні умови, спостерігається викривлення ліній течії, вихори не утворюються.

Друга шкала на рис. 1 показує розподіл швидкості на вільній поверхні продукту в реакторі.

Та сама швидкість представлена на рис. 2, але у вигляді поля швидкостей, інтенсивність якого представляється кольоровою заливкою.

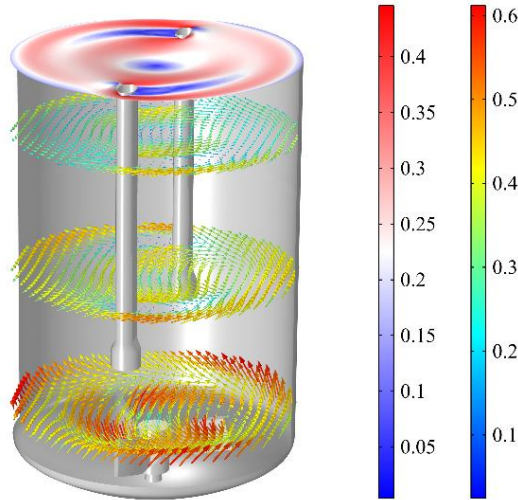


Рис. 1. Розподіл векторів швидкостей по висоті реактора, м/с

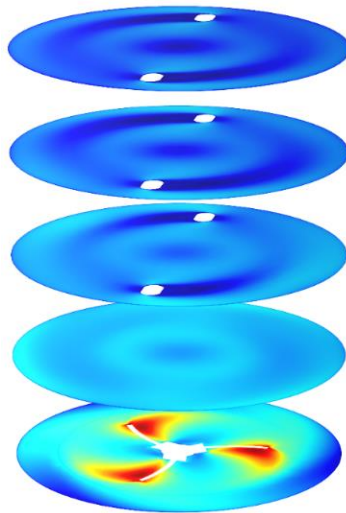


Рис. 2. Розподіл поля швидкостей по висоті реактора, м/с

Для більшого розуміння картини розподілу швидкості суміші в реакторі побудовано графіки швидкостей у вигляді її складових на вісі x , y та z , обравши відрізок медіану, що знаходиться у середній частині апарата (пунктирна лінія на рис. 3).

Графіки зміни швидкості по медіані реактора у площині xz на складові, що проєктуються, на вісі x , у та z зображено на рис. 4, 5 та 6 відповідно, де осьовою лінією умовно показана геометрична вісь апарата.

Результуючою цих кривих буде графік (рис. 7), що зображає абсолютне значення швидкості і є результуючою трьох складових x , y та z .

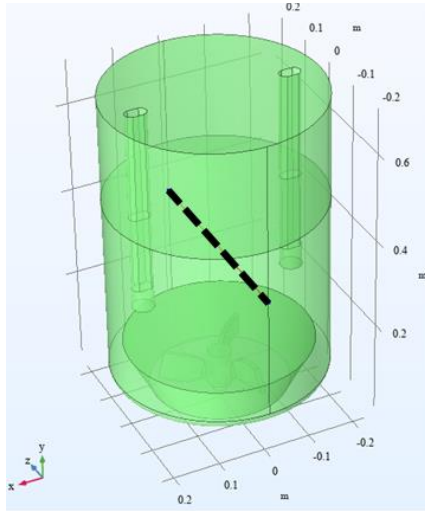


Рис. 3. Відрізок медіани

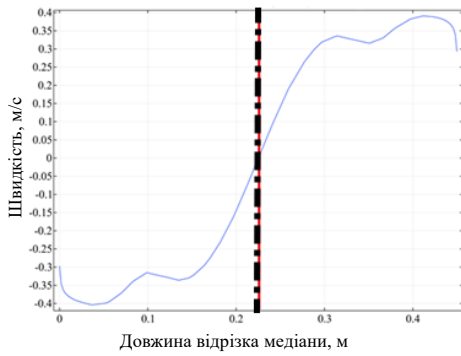


Рис. 4. Проекція швидкості на вісь x, м/с

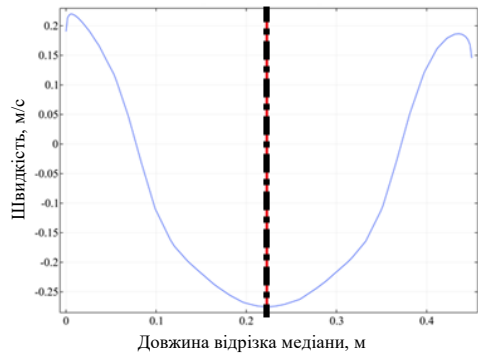


Рис. 5. Проекція швидкості на вісь y, м/с

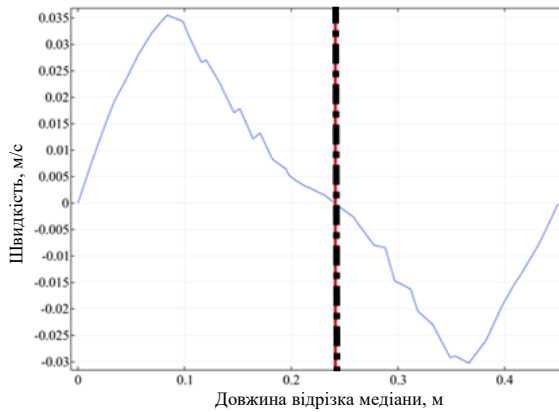


Рис. 6. Проекція швидкості на вісь z, м/с

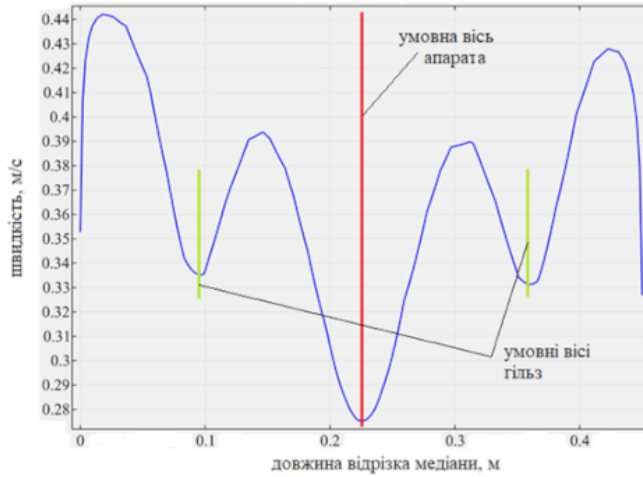


Рис. 7. Абсолютна швидкість середовища, м/с

Максимальне значення цієї тангенційної швидкості набуває біля стінок реактора і досягає 0,44 м/с.

Для порівняння швидкість продукту в зоні обертання мішалки досягає 1,41 м/с, про що свідчить поле швидкостей, зображене на рис. 8.

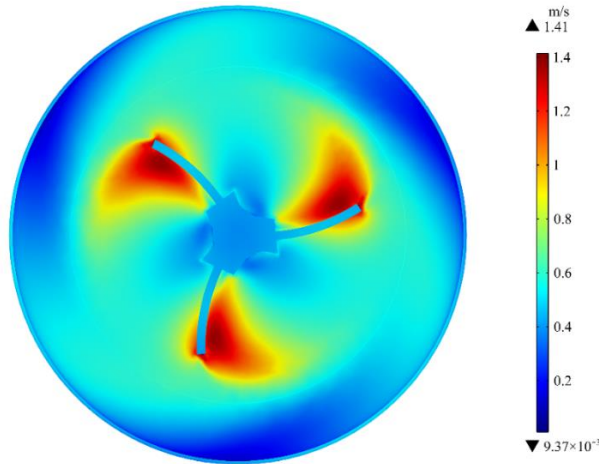
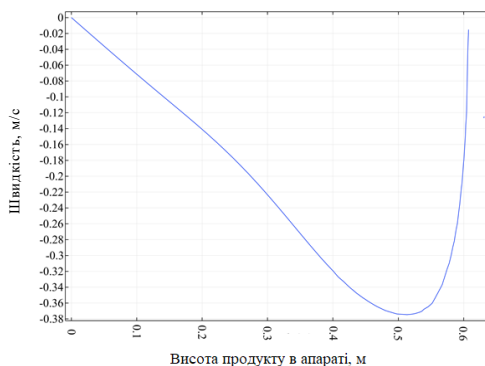


Рис. 8. Зміна швидкості на рівні площини мішалки, м/с

Наступним наведемо графік зміни швидкості продукту всередині апарата по його висоті (рис. 9).

Аналіз отриманого графіка свідчить про наявність насосного ефекту по вісі реактора, що створюється від обертання мішалки, продукт піднімаючись угору вздовж стінок апарата, спадає по його осі в нижню частину. Таким чином утворюється воронка на вільній поверхні продукту завдяки дії циркулюючих вихорів, що сприяють якісному перемішуванню продукту. Ця швидкість досягає значення

0,37 м/с і спрямована з поверхні продукту до мішалки, про що свідчить знак «мінус» на графіку. Далі ця швидкість зменшується і на еліптичному дніщі досягає нульового значення.



Утворення воронки на вільній поверхні реакційної маси

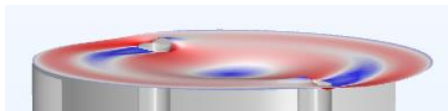


Рис. 9. Зміна швидкості вздовж вісі реактора, м/с

Подальшим етапом є визначення розподілу тиску на внутрішній поверхні реактора та поверхні мішалки. Результатом є отримане поле тисків, зображене на рис. 10.

Аналіз дає зрозуміти, що найменший тиск буде знаходитись у верхній частині реактора і прямуватиме до значення 0 Па. Оскільки програмний продукт показує абсолютні значення тиску, можемо зробити висновок, що в цій частині реактора діє тільки значення атмосферного тиску, яке, як відомо, складає 101000 Па.

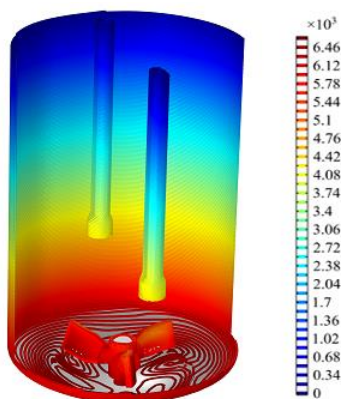


Рис. 10. Поле зміни тиску на внутрішній поверхні реактора та мішалки, Па

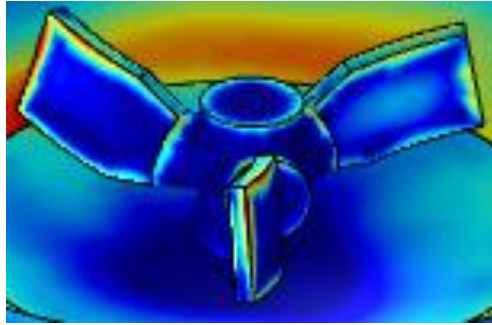


Рис. 11. Поле зміни тиску на кромках мішалки, Па

Наближаючись до нижньої частини реактора, величина тиску збільшується за рахунок дії стовпа продукту та гідродинамічного тиску, що виникає від обертання мішалки. У чисельному значенні ця величина досягає 5000 Па і зона її дії знаходиться на еліптичному дніщі реактора.

Максимальне значення тиску, яке складає приблизно 6500 Па, буде діяти на поверхні робочої площини мішалки, тобто на її кромках (рис. 11), що знаходяться на найбільшому її радіусі 0,13 м (зовнішній діаметр мішалки становить 260 мм). Отриманні значення тиску в подальшому дадуть змогу виконати конструктивні розрахунки корпусу реактора та мішалки.

На наступних двох рисунках представлені результати розподілу тиску в об'ємі продукту у вигляді графіків у горизонтальній і вертикальній площині. На графіках (рис. 12 і 13) бачимо розподілення тиску у вертикальній та горизонтальній площині реактора з його уявною віссю у вигляді вертикальної червоної лінії. За результатом можемо спостерігати невеликий перепад тисків між центром реактора і його периферійною зоною біля стінок, яке складає приблизно 200 Па – від 3260 до 3460 Па, що обумовлює появу на вільній поверхні продукту «воронки».

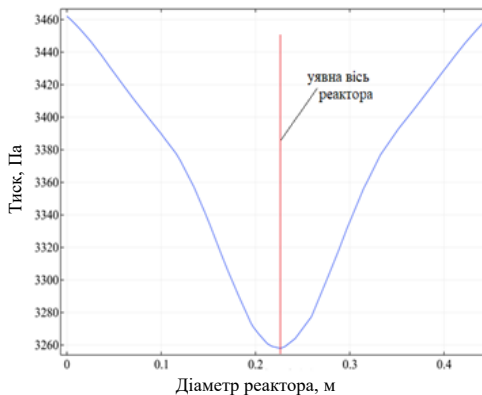


Рис. 12. Зміна тиску у вертикальній площині реактора

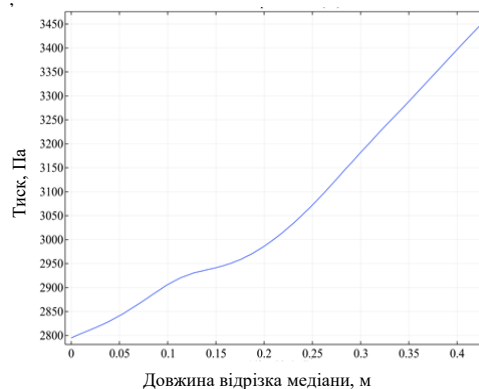


Рис. 13. Зміна тиску у горизонтальній площині реактора

В'язкість рідини турбулентна або віртуальна — умовна в'язкість, яка приписується моделі усередненого потоку і викликає появу в цій моделі додаткових уявних сил тертя («сил турбулентного тертя»), що компенсують невраховані зазначеною моделлю поперечні пульсації швидкості. Значення уявних сил турбулентного тертя для моделі усередненого потоку добирається з таким розрахунком, щоб вплив цих сил на формування епюри поздовжніх усереднених швидкостей виявився таким, як і вплив відкинутих поперечних пульсацій швидкостей.

Значення турбулентної динамічної в'язкості показано на рис. 14 у вигляді її розподілу на трьох горизонтальних площинах, які розташовані на відстані одна від одної на вертикальній осі реактора, та однієї площини, яка розташована вертикально та умовно ділить ємність реактора навпіл і також проходить через його геометричну вісь.

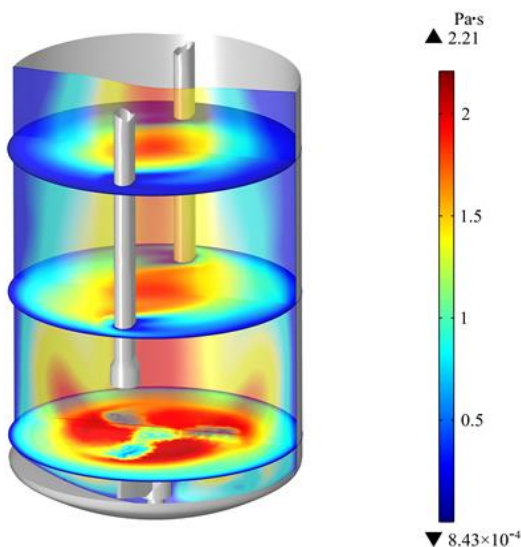


Рис. 14. Поля турбулентної динамічної в'язкості, Па·с

Аналізуючи результат, можемо стверджувати, що турбулентна в'язкість, зокрема сили турбулентного тертя переважають у зоні дії мішалки і набувають максимального значення 2,21 Па·с. Кольорова заливка надає нам можливість побачити наявність у цій частині реактора так званий циркуляційний контур, утворюючи уявну корону. Також можемо побачити, що найбільша дія цих сил превалює у центральній частині реактора, вздовж його осі, утворюючи умовний циліндр, діаметр якого складає приблизно третю частину від діаметра реактора і зменшується у своєму розмірі у верхній частині, утворюючи на вільній поверхні воронку.

Найменших значень турбулентна в'язкість набуває у верхній частині реактора (рис. 15), переважно біля його стінок, де мінімальне її значення дорівнює $8,43 \times 10^{-4}$ Па·с.

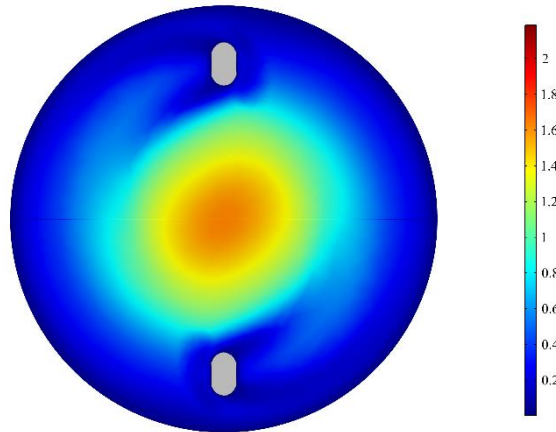


Рис. 15. Поле турбулентної динамічної в'язкості у верхній частині реактора, Па·с

Висновки

Досліджені гідродинамічні характеристики субстанції, що переміщується, за допомогою програмного комплексу *COMSOL Multiphysics*.

Отримані результати надають можливість аналізувати режими руху сировини та встановлювати залежність між параметрами реактора та сировиною. Інформація буде корисною для проектування змішувачів для приготування готових фармацевтичних препаратів або напівфабрикатів.

Проведено модернізацію реактора-змішувача для виробництва ревмоксикаму шляхом встановлення на нього екранованої муфти на постійних магнітах. У результаті модернізації усувається можливість потрапляння мастила до реакційної маси та необхідність складного центрування валу з верхнім його розташуванням, а також зменшуються витрати електроенергії та підвищується ефективність процесу перемішування.

Література

Байрамов, Р., Бабанова, О., Доломакін, Ю. (2021). *Дослідження ефективності роботи біореактора у напівпромислових умовах*. Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 87 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 15—16 квітня 2021 р. Київ: НУХТ.

Доломакін, Ю., Ніколаєнко, Є. (2023). *Моделювання статичного змішувача у біотехнологічних виробництвах*. Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 89 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 3—7 квітня 2023 р. Київ: НУХТ.

Доломакін, Ю., Байрамов, Р. (2022). *Імітаційне моделювання процесу перемішування двофазних фармацевтичних*. Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 88 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, квітень—травень 2022 р. Київ: НУХТ.

Доломакін, Ю., Бабанова, О., Ніколаєнко, Є. (2022). *Моделювання статичного змішувача у біотехнологічних виробництвах*. Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції: програма та тези матеріалів XI Міжнародної науково-технічної конференції. 8 листопада 2022 р. Київ: НУХТ, 341—342.

Доломакін, Ю. Ю., Бабанова, О. І., Байрамов, Р. Р. (2021). Дослідження гідродинаміки реактора-змішувача. Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції: програма та тези матеріалів X Міжнародної науково-технічної конференції. 09—10 листопада 2021 р. Київ: НУХТ, 43—45.

Aulisa, E., Manservigi, S., & Scardovelli, R. (2003). A mixed markers and volume-of-fluid method for the reconstruction and advection of interfaces in two-phase and free-boundary flows. *Journal of Computational Physics*, 188, 611—639.

Biswas, S., Esmaceli, A., & Tryggvason, G. (2005). Comparison of results from DNS of bubbly flows with a two-fluid model for two dimensional laminar flows. *International Journal of Multiphase Flow*, 31, 1036—1048.

Bothe, D., Schmidtke, M., & Warnecke, H. J. (2006). VOF-simulation of the lift force for single bubbles in simple shear flow. *Chemical Engineering and Technology*, 29, 1048e1053.

Daru, V., & Tenaud, C. (2004). High order one-step monotonicity-preserving schemes for unsteady compressible flow calculations. *Journal of Computational Physics*, 193, 563—594.

Murthy, B. N., Ghadge, R. S., & Joshi, J. B. (2007). CFD simulation of gas-liquid-solid stirred reactor: Prediction of critical impeller speed for solid suspension. *Chemical Engineering Science*, 62, 7184—7195.

Panneerselvam, R., Savithri, S., & Surender, G. D. (2008). CFD modeling of gas-liquid-solid mechanically agitated contactor. *Chemical Engineering Research and Design*, 86, 1331—1344.

THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR DEVELOPING A METHOD FOR CALCULATING CO₂ EMISSIONS FROM THERMAL POWER PLANTS

I. Volchyn¹

National University of Food Technologies

L. Haponych

Thermal Energy Technology Institute of the NAS Ukraine

K. Shraiber

Data Art

Key words:

Calculation method
Information technology
Statistical processing
Emissions
Carbon dioxide
Coal
Emission factor
Thermal power plant

Article history:

Received 08.05.2024
Received in revised form
27.05.2024
Accepted 14.06.2024

Corresponding author:

L. Haponych
E-mail:
haponych@ukr.net

Citation: Вольчин І. А., Гапоніч Л. С., Шрайбер К. О. (2024). Використання інформаційних технологій для створення методу розрахунку викидів CO₂ на теплових електростанціях. *Наукові праці НУХТ*, 30(3), 129–143. DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-12

ABSTRACT

A method for calculating CO₂ emissions resulting from the combustion of coal grades G, DG, and their mixtures at thermal power (TPPs) was developed. The research on the mixtures of coal grades G and DG was because these coal mixtures are consumed at TPPs in Ukraine. The method is based on the use of the carbon emission factor k_C , expressed in g/GJ. The method relies on technical analysis data since batches of coal are supplied to TPPs with only analysis providing lower heating value (LHV) and ash content to dry state A^d .

The use of information technology helps improve the accuracy and efficiency of emission calculations. Statistical analysis was done in MS Excel to calculate average values of carbon emission factors, standard deviations σ , confidence intervals Δ for established mean values of k_C .

The development was based on 100 samples of coal grades G and DG with an LHV range from 16.6 to 29.5 MJ/kg and an ash content from 7.2% to 44.3%. The average value for grade G coal was 25421 g/GJ, for grade DG it was 25981/GJ, while for the mixture — 25540 g/GJ. To the carbon emission factor, empirical dependencies in the form $k_C = a + b \times \text{LHV} + c \times A^d$ were obtained. In recent years, TPPs in Ukraine were supplied with coal varying in ash content from 22% to 40%. Therefore, empirical dependencies were obtained for different ranges: grade G coal with ash content between 19.4% and 37.9%, $k_C = 32522 - 246 \times \text{LHV} - 53 \times A^d$; grade DG coal with ash content between 18.5% and 38% — $k_C = 43657 - 602 \times \text{LHV} - 193 \times A^d$; for the mixture of grades G and DG with ash content between 20.1% and 40% — $k_C = 36964 - 393 \times \text{LHV} - 114 \times A^d$. Verification showed that calculation errors were less than 1.0%, which meets the requirements of the Procedure for Monitoring and Reporting Greenhouse Gas Emissions.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-12

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ВИКИДІВ CO₂ НА ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

І. А. Вольчин

Національний університет харчових технологій

Л. С. Гапонич

Інститут теплоенергетичних технологій НАН України

К. О. Шрайбер

DataArt

У статті розроблено метод розрахунку викидів CO₂, що утворюється при спалюванні вугілля марок Г, ДГ та їх сумішею на теплових електростанціях (ТЕС), адже на ТЕС України споживаються суміші саме цих марок. Метод базується на розрахунку коефіцієнта викиду вуглецю палива k_c , г/ГДж, за даними технічного аналізу, оскільки на ТЕС постачаються партії вугілля, що супроводжуються тільки технічним аналізом, в якому надаються нижча теплота згорання палива на робочий стан Q_i^r та вміст золи на сухий стан A^d . Застосування інформаційних технологій допомагає покращити точність і ефективність розрахунків викидів димових газів. Статистична обробка виконувалася вбудованими функціями MS Excel: були розраховані середні значення коефіцієнтів викиду вуглецю, стандартні відхилення σ та довірчий інтервал Δ для встановлених середніх значень k_c .

Розробку виконано на основі 100 зразків вугілля марок Г та ДГ з Q_i^r від 16,6 МДж/кг до 29,5 МДж/кг та з A^d від 7,2% до 44,3%. Середні значення k_c для вугілля марки Г складає 25421 г/ГДж, марки ДГ — 25981 г/ГДж, суміші марок Г та ДГ — 25540 г/ГДж. Для розрахунку коефіцієнтів викиду вуглецю отримано емпіричні залежності виду $k_c = a + bQ_i^r + cA^d$. В останні роки на ТЕС України постачається вугілля різної зольності, від 22% до 40%, тому залежності отримано для вугілля різних діапазонів зольності: для марки Г для зольності від 19,4% до 37,9% залежність має вигляд $k_c = 32522 - 246 \times Q_i^r - 53 \times A^d$; для марки ДГ для зольності від 18,5% до 38,0% — $k_c = 43657 - 602 \times Q_i^r - 193 \times A^d$; для суміші марок Г та ДГ для зольності від 20,1% до 40,0 — $k_c = 36964 - 393 \times Q_i^r - 114 \times A^d$. Верифікація методу показує, що похибка розрахунків складає менше 1,0%, що відповідає вимогам Порядку здійснення моніторингу та звітності щодо викидів парникових газів.

Ключові слова: метод розрахунку, інформаційні технології, статистична обробка, викид, діоксид вуглецю, вугілля, коефіцієнт викиду, теплоелектростанція.

Постановка проблеми. Одним з найбільших джерел викидів парникових газів (ПГ) є спалювання викопного палива. На українські ТЕС у 1990—2022 рр. припадало 19—13% від загальнонаціональних промислових викидів ПГ (Volchyn, Haronuch, & Mokretskyu, 2022). Згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 880 від 23.09.2020 «Про затвердження переліку видів діяльності, викиди ПГ в

результаті провадження яких підлягають МЗВ» викиди ПГ на українських теплових електростанціях (ТЕС) підлягають моніторингу, звітності та верифікації.

Парникові гази, що утворюються при спалюванні органічного палива, — це CO_2 , CH_4 та N_2O . Треба підкреслити, що 99,5% від всього обсягу ПГ на ТЕС становить діоксид вуглецю (Volchyn, & Haponych, 2019), тому оцінка та прогнозування викидів ПГ, передусім CO_2 , є цікавою як для фахівців, так і для громадськості.

Інформаційні технології відіграють ключову роль у створенні методик розрахунку викидів димових газів, зокрема парникових газів. Ось декілька прикладів застосування інформаційних технологій у цій сфері.

1. Симуляційні моделі та програмне забезпечення:

- моделювання з використанням обчислювальної гідродинаміки, так зване CFD-моделювання (Computational Fluid Dynamics): така програма, як ANSYS Fluent (Кобзар, Топал, Гапонич, & Голенко, 2021; Gaji, Ejilal, & Bello, 2022) використовується для симуляції потоків димових газів, їх розподілу та впливу на навколишнє середовище. Це дає змогу більш точно прогнозувати концентрації різних видів димових газів та їх розсіювання;

- програми типу CHEMKIN або Aspen Plus дають змогу моделювати хімічні реакції, що відбуваються під час горіння, і визначати склад димових газів залежно від виду палива та умов горіння;

- програмне забезпечення для термодинамічного моделювання (Thermodynamic Simulation Software) Epsilon®Professional є потужним програмним забезпеченням для термодинамічного моделювання, яке широко використовується для аналізу й оптимізації енергетичних систем. Це програмне забезпечення дає змогу створювати детальні моделі різних компонентів енергетичних систем, включаючи процеси спалювання відходів і оцінку викидів димових газів. Epsilon®Professional може моделювати хімічні реакції, які відбуваються під час спалювання, й оцінювати викиди різних забруднюючих речовин, таких як CO_2 , SO_2 , NO_x тощо. Завдяки вбудованим алгоритмам оптимізації, програмне забезпечення дає змогу знаходити оптимальні робочі параметри для мінімізації викидів та підвищення ефективності системи. У статті (Thabit, Nassour, & Nelles, 2022) розглядається використання програмного забезпечення Epsilon®Professional для моделювання процесів спалювання відходів та оцінки викидів димових газів. У цьому дослідженні було розроблено модель для інсинераторів відходів, що дає змогу прогнозувати процеси спалювання й оцінювати викиди димових газів. Це оптимізує роботу установок з утилізації відходів та зменшує їх негативний вплив на навколишнє середовище;

- MATLAB (Matrix Laboratory) також є інструментом для обчислень і моделювання, який широко використовується в інженерії, науці та дослідженнях. MATLAB використовується для розробки числових моделей, які можуть симулювати процеси спалювання і розповсюдження викидів. Ці моделі можуть включати рівняння теплопередачі, хімічних реакцій та динаміки рідин. MATLAB має вбудовані функції для вирішення задач оптимізації, що допомагає налаштувати параметри процесів спалювання для мінімізації викидів шкідливих речовин. У статті (Brandao, & Santos, 2023) розглядається використання SIMULINK/MAT-

LAB для аналізу викидів димових газів. Інструменти MATLAB використовувалися для візуального відображення рівнів, отриманих під час аналізу. В статті (Arul, 2018) показано створення автоматичної системи, яка здатна аналізувати і контролювати димові гази промислових підприємств, таких як SO₂, CO₂, CO. В створеній методиці концентрації димових газів зчитуються датчиками та ілюструються моделюванням у MATLAB.

2. Системи моніторингу та збору даних:

- системи з використанням IoT (Internet of Things) сенсорів можуть безперервно моніторити параметри горіння та склад димових газів у реальному часі. Ці дані можуть бути передані до централізованих систем для подальшого аналізу й оптимізації процесів. Системи з використанням IoT сенсорів — це технологічні системи, які використовують мережу взаємопов'язаних пристроїв з вбудованими сенсорами, програмним забезпеченням та іншими технологіями для збору, обміну й обробки даних у режимі реального часу через Інтернет. Сенсори вимірюють фізичні параметри (температура, вологість, тиск, якість повітря тощо) і перетворюють їх на цифрові дані. Дані, зібрані сенсорами, передаються на центральний вузол або хмарну платформу через мережі, такі як Wi-Fi, Bluetooth, LoRa, 5G тощо. Зібрані дані обробляються за допомогою програмного забезпечення та алгоритмів для отримання корисної інформації або прийняття рішень. Інформація, оброблена системою, надається користувачам через додатки;

- аналіз великих даних (Big Data): технології аналізу великих даних використовуються для обробки великих обсягів інформації, зібраних з різних сенсорів, що дозволяє виявляти закономірності та тренди в утворенні димових газів. У статті (Zheng, Liu, & Hsieh, 2013) розглядається система U-Air, яка використовує IoT-сенсори для моніторингу якості повітря й обробки великих даних для прогнозування викидів і їх розповсюдження в міських умовах.

3. Використання нейронних мереж та алгоритмів оптимізації:

- SCADA-системи (Supervisory Control and Data Acquisition) використовуються для моніторингу й управління технологічними процесами, збору з сенсорів і пристроїв та аналізу даних в режимі реального часу, прийняття рішень на основі отриманих результатів. Це дає змогу оперативно реагувати на зміни параметрів горіння та зменшувати викиди шкідливих речовин. Адаптивна нечітка система логічного висновку ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) може бути частиною обробки даних у SCADA системах, де він використовує нейронні мережі й алгоритми оптимізації для прогнозування та аналізу. ANFIS інтегрований з оптимізацією рою частинок PSO (Particle Swarm Optimization) дає змогу створювати складні моделі для автоматичного управління процесами. Ці моделі можуть використовуватися для прогнозування викидів димових газів і оптимізації роботи обладнання в режимі реального часу, що є однією з ключових функцій SCADA систем. У статті (Shamshirband та ін., 2019) описується використання ANFIS PSO для прогнозування викидів ртуті у димових газах, що може бути інтегровано в SCADA систему для моніторингу й управління процесами на теплових електростанціях. Модель враховує характеристики вугілля і параметри роботи котлів, що дає змогу точно прогнозувати викиди;

- моделі предикативного управління використовують методи машинного навчання та штучного інтелекту для прогнозування поведінки системи й оптимізації процесів горіння з метою мінімізації утворення димових газів.

4. Інформаційні системи та бази даних:

- екологічні інформаційні системи — це бази даних, що містять інформацію про склад димових газів для різних типів палива й технологій горіння, можуть бути використані для розробки нових методик розрахунку;

- використання Microsoft Excel для аналізу даних є прикладом застосування інформаційних технологій, особливо в таких аспектах, як обробка даних, візуалізація результатів і проведення обчислень. Хоча Excel не є типовою базою даних, як, наприклад, SQL Server або Oracle, його можливості значно розширюють межі традиційних електронних таблиць. Excel широко використовується для аналізу великих обсягів даних, зокрема, даних про концентрації викидів димових газів, температуру, витрати палива та інші параметри (Вольчин, & Гапонич, 2018). За допомогою вбудованих функцій і графічних інструментів можна створювати діаграми, графіки і таблиці для візуалізації результатів;

- хмарні обчислення. Використання хмарних платформ для зберігання та обробки даних забезпечує доступ до потужних обчислювальних ресурсів і великої кількості даних для точніших розрахунків.

Перераховані дослідження демонструють різноманітні підходи до використання інформаційних технологій у розрахунках і моделюванні викидів димових газів, включаючи нейронні мережі, алгоритми оптимізації, спеціалізоване програмне забезпечення й аналіз великого масиву даних. Застосування цих технологій допомагає підвищити точність та ефективність розрахунків викидів димових газів, що є критично важливим для зменшення впливу на навколишнє середовище й дотримання екологічних норм. Тому створення методу розрахунку та прогнозування викидів діоксиду вуглецю на теплових електростанціях з використанням інформаційних технологій є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інформацію про викиди CO₂ на теплових електростанціях можна отримати або за допомогою супутникових даних (Hu, & Shi, 2021), або безперервним вимірюванням його концентрації та об'ємної витрати димових газів (Quick, 2010), або розрахунковими методами (Ma та ін., 2014; Pan та ін., 2013). Постійні безперервні вимірювання потребують відповідного вимірювального обладнання, якого сьогодні немає на ТЕС України.

Для розрахунку сумарних викидів CO₂ на ТЕС, де спалюються різні види викопного палива, використовується формула:

$$E_{CO_2} = E_{CO_2}^{вугілля} + E_{CO_2}^{мазут} + E_{CO_2}^{np.газ}, \quad (1)$$

де E_{CO_2} — викид CO₂, що утворюється при спалюванні палива на ТЕС за рік, тис. т; $E_{CO_2}^{вугілля}$ — викид CO₂, що утворюється при спалюванні вугілля; $E_{CO_2}^{мазут}$ — викид CO₂, що утворюється при спалюванні мазуту; $E_{CO_2}^{np.газ}$ — викид CO₂, що утворюється при спалюванні природного газу.

Розрахувати викиди діоксиду вуглецю, що утворюється при спалюванні кожного виду викопного палива на ТЕС, можна за методикою розробленою IPCC (Calvo Buendia та ін., 2019), яка базується на використанні коефіцієнта викиду CO₂ та ступені окислення вуглецю палива в котлі:

$$E_{CO_2} = 10^{-6} k_{CO_2} B Q_i^r \varepsilon_c, \quad (2)$$

де E_{CO_2} – викид CO_2 , тис. т; k_{CO_2} — коефіцієнт викиду діоксиду вуглецю, г/ГДж; B — витрата спожитого викопного палива (вугілля або природного газу чи мазуту) за певний проміжок часу, наприклад рік, тис. т або тис. м³; Q_i^r — нижча теплота згоряння на робочий стан палива, МДж/кг або МДж/м³; ε_c — ступінь окислення вуглецю палива, частка.

Ступінь окислення вуглецю ε_c вугілля можна розрахувати за формулою (Hu, Shi, 2021):

$$\varepsilon_c = 1 - (q_4 / C^r) \cdot (Q_i^r / Q_c) \quad (3)$$

або за формулою (Вольчин, & Гапонич, 2018):

$$\varepsilon_c = 1 / (1 - q_4 / 100), \quad (4)$$

де q_4 — втрати теплоти через механічну неповноту згоряння палива, %; Q_c — теплота згоряння вуглецю до CO_2 , яка дорівнює 32,68 МДж/кг.

Ступені окислення вуглецю ε_c мазуту та природного газу згідно з методикою IPCC (Calvo Buendia та ін., 2019) приймаються такими, що дорівнюють 1.

Коефіцієнт викиду характеризує кількість речовини, яка викидається установкою спалювання в атмосферне повітря разом з димовими газами, віднесена до одиниці енергії, що виділяється при згорянні палива. Коефіцієнт викиду CO_2 є питомою величиною викиду, його значення визначається за індивідуальними характеристиками органічного палива. Значення k_{CO_2} обирається або за замовчуванням, або розраховується за елементним складом відповідного палива, визначеного на основі лабораторних аналізів. Значення k_{CO_2} за замовчування для різних видів викопного палива наведено в табл. 1. За методикою IPCC (Calvo Buendia та ін., 2019) рекомендується для розрахунків застосовувати унікальний для країни або регіону коефіцієнт викидів, який відображає особливості спожитого палива. В табл. 1 також наведено значення таких коефіцієнтів для енергетичного вугілля України (Volchyn, Haponych, & Mokretskyu, 2022), Великої Британії та Німеччини (Juhrich, 2016), Південної Кореї (Lee, Im, Yoo, Lee, & Jeon, 2015), Індонезії (Damayanti, & Khaerunissa, 2018), США (Quick, 2010). В Україні деталізовані довідкові значення розрахункових k_{CO_2} публікуються щороку на офіційному веб-сайті Міндовкілля відповідно до п. 34 «Порядку здійснення моніторингу та звітності щодо викидів парникових газів» (далі Порядок здійснення моніторингу), затвердженому постановою Кабінету Міністрів України № 960 від 23.09.2020 України.

Таблиця 1. Коефіцієнти викиду CO_2 за замовчуванням та розраховані за елементним складом палива, визначеного на основі лабораторних аналізів

Вид палива	IPCC	Україна	Південна Корея	Індонезія	США	Велика Британія, Німеччина	
	k_{CO_2} , г/ГДж/ Q_i^r , МДж/кг	k_{CO_2} , г/ГДж/ Q_i^r , МДж/кг	k_{CO_2} , г/ГДж/ Q_i^r , МДж/кг	k_{CO_2} , г/ГДж/ Q_i^r , МДж/кг	k_{CO_2} , г/ГДж	k_{CO_2} , г/ГДж	
Кам'яне вугілля	96100/ 18,9	94500 / 22,0	95600 / 19,7	97700 / 21,9	92000	95900	96800
Природний газ	56100/48,0	55700/48,0	н/д	н/д	н/д	55700—55900	
Мазут	77400/40,4	77300/40,2	н/д	н/д	н/д	79000—81300	

Значення цих коефіцієнтів для кам'яного вугілля для різних джерел порівняно зі значеннями IPCC мають розбіжність в межах 3,7%, природного газу — 0,7%, мазуту — 5,0%. Суттєві розбіжності у визначенні викидів діоксиду вуглецю розрахованими за коефіцієнтами IPCC та визначеними за елементним складом вугілля також фіксуються і в інших дослідженнях, наприклад для американського вугілля (Quick, & Marland, 2019).

Українські теплові електростанції згідно з Порядком здійснення моніторингу відносяться до спалювальних установок категорії В, обсяг викидів парникових газів яких перевищує 500 тис. т CO₂ еквіваленту на рік. Вугілля на українських ТЕС відноситься до «значного» матеріального потоку, оскільки обсяги викидів CO₂, які утворюються при його спалюванні, є більшим за 90,0% сумарного обсягу діоксиду вуглецю (Volchyn, Haronnych, & Mokretskyu, 2022). Для спалювальних установок категорії В при розрахунку викидів CO₂, що утворюються при спалюванні «значних» матеріальних потоків, слід застосовувати такі методики, які забезпечують результати з похибкою менше 2,5%. Мазут і природний газ відносяться до «незначних» та «мінімальних» матеріальних потоків, оскільки обсяги викидів CO₂, що утворюються при їх спалюванні, є меншими за 10,0% та 2,0% сумарного обсягу CO₂, відповідно. Для їх розрахунків допускаються похибки розрахунків менше 5,0% та 7,5% відповідно, які досягаються при використанні коефіцієнтів викидів за замовчуванням, наведених у табл. 1. Тому становить інтерес питання створення методики розрахунку викидів CO₂, що утворюються саме при спалюванні вугілля, яка б враховувала елементний склад вугілля і дозволяла отримувати результати з похибкою менше 2,5%.

У літературі існують методики, в яких для розрахунку викидів діоксиду вуглецю, що утворюються в установках спалювання вугілля, використовують коефіцієнт викиду вуглецю k_C , який є відношенням вмісту вуглецю вугілля до його нижчої теплоти згоряння. Коефіцієнт викиду CO₂ можна записати:

$$k_{CO_2} = (44/12) \cdot (C^r / 100/100) \cdot (10^6 / Q_i^r), \quad (5)$$

$$k_{CO_2} = 3,67 k_C, \quad (6)$$

де k_C — коефіцієнт викиду вуглецю палива, г/ГДж;

$$k_C = (C^r / 100) \cdot (10^6 / Q_i^r), \quad (7)$$

C^r — масовий вміст вуглецю в паливі на робочий стан палива, %.

Для розрахунку викидів діоксиду вуглецю у статті (Chernyavskyy, 2023) пропонується використовувати узагальнене для різних марок вугілля за «Сертифікатами генетичних, технологічних та якісних характеристик», які розробляв на 4-річні періоди для кожного виробника та виду вугільної продукції інститут «УкрНДІ-вуглезбагачення», значення C^{daf} (вмісту вуглецю у вугіллі на суху беззолну масу), а C^r розраховується за стандартною формулою:

$$C^r = C^{daf} (1 - (w_i^r / 100) - (A^r / 100)), \quad (8)$$

де W_i^r , A^r — вміст вологи та золи на робочий стан палива за звітністю 3-тех-ТЕС, %.

Використання цієї методики вимагає інформації про щорічні середні значення C^{daf} для різних марок українського енергетичного вугілля, яка не завжди наявна. Крім того, у статті не вказується похибка розрахунків за цією методикою.

Виконаний літературний аналіз показує, що для розрахунку коефіцієнтів викидів діоксиду вуглецю та коефіцієнтів викиду вуглецю k_C необхідна інформація про масовий вміст вуглецю C^r та нижчу теплоту згоряння Q_i^r на робочий стан палива. Але на практиці на ТЕС постачаються партії вугілля, які супроводжуються тільки технічним аналізом, в якому надаються нижча теплота згоряння палива та вміст золи. Тому деталізованим завданням цього дослідження було розроблення та верифікація методу розрахунку й прогнозування викидів CO_2 , що утворюється при спалюванні вугілля, за даними технічного аналізу, що дасть змогу отримувати результати з похибкою менше 2,5%.

Мета дослідження: створення методу розрахунку та прогнозування викидів діоксиду вуглецю на теплових електростанціях з використанням інформаційних технологій.

Матеріали і методи. Для розроблення методу розрахунку та прогнозування викидів діоксиду вуглецю було досліджено 100 зразків енергетичного вугілля марок Г та ДГ з нижчою теплотою згоряння Q_i^r на робочий стан у діапазоні від 16,6 до 29,5 МДж/кг та зольністю A^d на сухий стан в діапазоні від 7,2 до 44,3%. Зазначений метод створювався на основі сертифікатів генетичних, технологічних та якісних характеристик для вугілля та вугільної продукції (далі — Сертифікати), складених і затверджених державним підприємством «УкрНДІвуглезабагачення». Сертифікати були оцифровані та збережені у базі даних. Це передбачало використання СКБД (систему керування базами даних) для організації та зберігання структурованої інформації. В Сертифікатах наявна інформація про марку вугілля, його елементний склад, зокрема органічний вуглець на сухий беззолний стан (горючу масу, daf) C^{daf} , органічний водень H^{daf} , азот і кисень $(N+O)^{daf}$, загальна сірка на сухий (d) стан S_t^d , піритна сірка S_p^d , сульфатна сірка S_s^d , органічна сірка S_o^{daf} , нижча теплота згоряння на робочий стан (r) Q_i^r , загальна волога W_i^r , зольність A^d , вихід легких V^{daf} тощо. Вміст азоту та кисню визначався за залишковим методом: $N^{daf} + O^{daf} = 100 - (C^{daf} + H^{daf} + S_o^{daf})$. Для розділення їхньої суми на окремі складові на попередніх етапах дослідження отримано співвідношення між значеннями вмісту кисню та азоту O^r/N^r для різних марок вугілля: для вугілля марки Г 87/13%/%, а марки ДГ 88/12%/%. Саме ці співвідношення для різних марок вугілля були застосовані для розділення суми N^r і O^r для кожного зразку вугілля.

У Сертифікаті надається велика кількість характеристик палива, але лише одне значення щодо елементного складу на робочий стан палива — загальна волога на робочий стан W_i^r . Усі інші складові елементного складу необхідно розраховувати, базуючись на формулах перерахунку, які приведено в табл. 2.

Таблиця 2. Коефіцієнти перерахунку масового вмісту палива на стани

Масовий вміст, %	Початкове значення масового вмісту, %		
	На робочий стан (r)	На сухий стан (d)	На сухий беззолний стан (daf)
На робочий стан (r)	1	$(100 - W^r)/100$	$(100 - W^r - A^r)/100$
На сухий стан (d)	$100/(100 - W^r)$	1	$(100 - A^d)/100$
На сухий беззолний стан (daf)	$100/(100 - W^r - A^r)$	$100/(100 - A^d)$	1

Для обробки та аналізу даних, отриманих із Сертифікатів, було використано Microsoft Excel. Excel надає потужні інструменти для аналізу даних, включаючи зведені таблиці, аналітичні функції, засоби сортування, а також вбудовані статистичні інструменти, що дає змогу виконувати комплексний аналіз великих обсягів даних. Для кожного зі зразків вугілля за даними Сертифікатів було розраховано його елементний склад на робочу масу. Розрахунки виконувалися поетапно, спочатку на сухий стан, а потім на робочий стан. Значення коефіцієнтів викиду вуглецю палива k_C розраховувалися за формулою (7) за елементним складом кожного зі зразків вугілля.

Статистична обробка виконувалася вбудованими функціями Microsoft Excel. Середнє значення розраховувалося з використанням функції Average, стандартне відхилення σ — STDEV.P, довірчий інтервал Δ для встановлених середніх значень k_C — CONFIDENCE.NORM. Для візуалізації отриманих даних будувалися графіки з використанням інструменту Create a Chart, а для візуалізації розподілу отриманих значень використовувався інструмент Data Analysis (гістограми).

Викладення основних результатів дослідження. Розраховані за елементним складом кожного зі зразків вугілля значення коефіцієнтів викиду вуглецю палива узагальнено для різних марок енергетичного вугілля та їх сумішей. Дослідження щодо сумішей марок вугілля Г та ДГ проводилося тому, що на ТЕС України в останні роки споживаються саме суміші енергетичного вугілля (Volchyn, Naronych, & Przybylski, 2021). На рис. 1 для прикладу наведено значення k_C залежно від нижчої теплоти згоряння Q_i^r для суміші вугілля марок Г та ДГ.

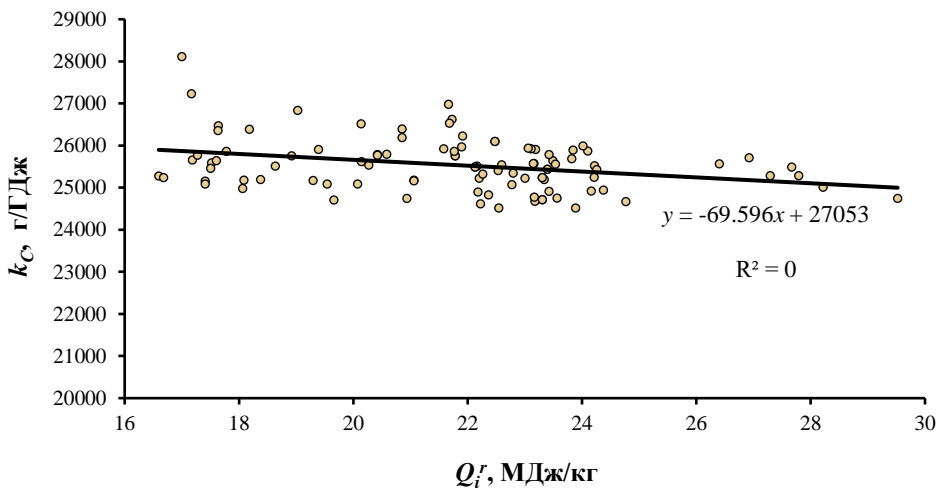


Рис. 1. Залежність коефіцієнтів викиду вуглецю палива від теплоти згоряння вугілля для суміші вугілля марок Г та ДГ

На рис. 1 показано узагальнюючу залежність між коефіцієнтами викиду вуглецю палива й теплою згоряння вугілля. Треба зазначити, що ця залежність узагальнює значення k_C від Q_i^r з низьким значенням імовірної апроксимації $R^2=0,1$ і не може бути рекомендована для розрахунку коефіцієнтів викидів. Візуалізація розподілу значень показана k_C показана на гістограмі на (рис. 2).

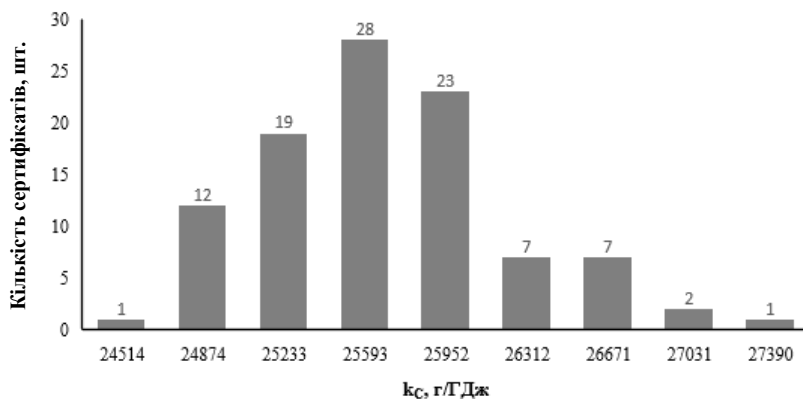


Рис. 2. Розподіл значень коефіцієнтів викиду вуглецю для суміші вугілля марок Г та ДГ

Для марок Г, ДГ та їх сумішей розраховано середні значення k_C вибірок з різними діапазонами зольності. В останні роки на ТЕС України постачається вугілля різної зольності, від 22% до 40%, тому в табл. 3 наведено розраховані значення k_C для різних діапазонів зольності. Встановлені середні значення коефіцієнтів викиду вуглецю k_C , їх середньоквадратичного (стандартного) відхилення та довірчого інтервалу наведені у табл. 3. Треба зазначити, що для сумішей вугілля марок Г та ДГ для всіх діапазонів зольності отримано високі значення стандартного відхилення — близько 3% від встановлених середніх значень k_C . Тому отримані залежності не можуть бути рекомендованими для розрахунків викидів діоксиду вуглецю на теплових електростанціях.

Таблиця 3. Середні значення коефіцієнтів викиду вуглецю для вугілля марок Г, ДГ, для сумішей вугілля марок Г і ДГ для різних діапазонів зольності вугілля

Марки вугілля	Кількість Сертифікатів	A^d , %		Середнє значення k_C , г/ГДж	σ , г/ГДж	Δ , г/ГДж
		діапазон	середнє значення			
Г	35	19,4—37,9	24,8	25421	531	181
ДГ	20	18,5—38,0	26,2	25981	465	253
Г, ДГ	100	7,2—44,3	25,6	25540	613	120
	80	20,1—40,0	26,1	25561	639	140
	60	20,1—28,9	22,8	25553	677	
	20	28,9—40,0	35,7	25501	505	

На попередніх етапах дослідження встановлено, що для вугілля марок Г та ДГ залежність коефіцієнтів викиду вуглецю k_C від теплоти згоряння вугілля Q_i^r , МДж/кг, має лінійний характер (Вольчин, & Гапонич, 2018):

$$k_C = A + BQ_i^r, \quad (9)$$

де A та B — коефіцієнти, що залежать від марки вугілля.

Для розрахунку теплоти згоряння вугілля Q_i^r , МДж/кг можна використовувати відому формулу Менделєєва:

$$Q_i^r = 4,19(81C^r + 300H^r - 26(O^r - S^r)) - 6(9H^r + W^r)10^{-3}, \quad (10)$$

або формулу Нівела:

$$Q_i^r = 4,19(81,05C^r + 316,4H^r - 26,9O^r + 23,9S^r - 3,5A^r - 6(9H^r + W^r))10^{-3}, \quad (11)$$

Аналіз формул (10)—(11) показує, що існує залежність між теплотою згорання і вмістом в вуглецю у вугіллі різних марок, і що внесок теплоти згорання вуглецю в теплоту згорання палива є найбільшим.

Формула Менделєєва для розрахунку теплоти згорання вугілля не враховує впливу зольності. Наші дослідження показали, що розраховані за формулою Менделєєва значення Q_i^r для вугілля різних марок з зольністю A^d до 23% співпадають з їх значеннями зі Сертифікатів з точністю близько 1%. Для зольності вугілля A^d в межах 23—44% кращий збіг розрахункових і експериментальних результатів дає використання формули Нівела, яка враховує зольність вугілля. Тобто для побудови емпіричних залежностей для розрахунку k_C доцільно, окрім теплоти згорання, враховувати ще й зольність вугілля. З огляду на це та на результати попередніх досліджень ми записали залежність коефіцієнта викиду вуглецю для певної марки вугілля у вигляді:

$$k_C = a + bQ_i^r + cA^d. \quad (12)$$

Оскільки кількість Сертифікатів для кожної марки вугілля більша за кількість невідомих коефіцієнтів a , b , c , то для визначення значень цих коефіцієнтів був використаний метод найменших квадратів (Wolfberg, 2005), тобто знайшли мінімум функції:

$$S = \sum_{j=1}^N (k_{Cj} - a - bQ_{ij}^r - cA_j^d)^2, \quad (13)$$

де N — кількість Сертифікатів для різних марок вугілля та/або різної якості (наприклад для діапазону зольності) вугілля однієї марки; j — номер Сертифіката (експерименту).

Для пошуку цього мінімуму треба розв'язати систему трьох рівнянь:

$$\partial S / \partial a = 0, (\partial S / \partial b) = 0, (\partial S / \partial c) = 0. \quad (14)$$

Підставляємо функцію (11) в рівняння (12) і отримуємо:

$$\begin{cases} \partial S / \partial a = \sum_{j=1}^N 2(k_{Cj} - a - bQ_{ij}^r - cA_j^d)(-1) = 0; \\ \partial S / \partial b = \sum_{i=1}^N 2(k_{Cj} - a - bQ_{ij}^r - cA_j^d)(-Q_{ij}^r) = 0; \\ \partial S / \partial c = \sum_{i=1}^N 2(k_{Cj} - a - bQ_{ij}^r - cA_j^d)(-A_j^d) = 0; \end{cases} \quad (15)$$

або після перетворення:

$$\begin{cases} Na + \sum_{j=1}^N bQ_{ij}^r + \sum_{j=1}^N cA_j^d = \sum_{j=1}^N k_{Cj}; \\ \sum_{j=1}^N aQ_{ij}^r + \sum_{j=1}^N bQ_{ij}^r + \sum_{j=1}^N Q_{ij}^r A_j^d = \sum_{j=1}^N k_{Cj} Q_{ij}^r; \\ \sum_{j=1}^N aA_j^d + \sum_{j=1}^N bA_j^d Q_{ij}^r + \sum_{j=1}^N cA_j^d = \sum_{j=1}^N k_{Cj} A_j^d \end{cases} \quad (16)$$

Розв'язок системи (16) дає оптимальні значення шуканих коефіцієнтів a , b і c . Пошук цього розв'язку було реалізовано у створеній авторами комп'ютерній

програмі на мові фортран. Результати розрахунків зведено в табл. 4 для діапазонів зольності, які отримано в табл. 3. В табл. 4 також наведено стандартне відхилення σ , г/ГДж для значень k_C , г/ГДж, які отримано за отриманими залежностями. Як середні використовувалися значення, отримані в табл. 3.

Таблиця 4. Емпіричні залежності для розрахунку коефіцієнтів викиду вуглецю у вугіллі за даними технічного аналізу

Марки вугілля	Кількість експериментів	A^d , %		Отримані залежності для k_C , г/ГДж	σ , г/ГДж
		діапазон	середнє значення		
Г	35	19,4—37,9	24,8	$k_C=32522-246Q_f^r-53A^d$	435
ДГ	20	18,5—38,0	26,2	$k_C=43657-602Q_f^r-193A^d$	551
Г, ДГ	100	7,2—44,3	25,6	$k_C=38147-432Q_f^r-126A^d$	566
	80	20,1—40,0	26,1	$k_C=36964-393Q_f^r-114A^d$	520
	60	20,1—28,9	22,8	$k_C=38461-422Q_f^r-151A^d$	530
	20	28,9—40,0	35,7	$k_C=32380-290Q_f^r-40A^d$	441

Верифікація розробленого методу розрахунку діоксиду вуглецю. В табл. 5 наведено інформацію із Сертифікатів щодо Q_f^r , C^r та A^d вугілля марок Г та ДГ з різних вугільних підприємств України. Також у табл. 5 наведені значення k_C , розраховані за елементним складом вугілля за формулою (7) за даними технічного аналізу за встановленими емпіричними залежностями, наведеними в табл. 4. Похибка розрахунків за емпіричними залежностями склала менше 0,95%.

Таблиця 5. Порівняння розрахунків коефіцієнта викиду вуглецю за елементним складом вугілля за формулою (7) та за створеним методом (табл. 4) для енергетичного вугілля марок Г та ДГ для різних вугільних підприємств України

Вугільне підприємство	Марка вугілля	Дані Сертифікатів			Розрахунок		
		Q_f^r , MJ/kg	C^r , %	A^d , %	k_C , г/ГДж		
					ф. (7)	табл. 3	δ^* , %
ВСП Шахтоуправління Першотравенське ТОВ ДТЕК Допроділявугілля шахта Ювілейна	Г	20,27	51,77	34,5	25538	25707	0,66
ТОВ ЦЗФ Селидівська	Г	23,15	59,20	20,2	25575	25757	0,71
ПАТ ЦЗФ Комсомольська	Г	24,26	61,68	21,9	25429	25394	0,14
ПАТ ЦЗФ Україна	Г	23,40	59,50	20,9	25433	25659	0,89
ПАТ ЦЗФ Комсомольська	ДГ	21,78	56,10	24,9	25756	25707	0,95
ПАТ ЦЗФ Україна	ДГ	22,48	58,70	21,9	26098	25868	0,38
ТОВ ЦЗФ Селидівська	ДГ	21,91	57,50	21,4	26226	26307	0,86

ВП Шахта ім. Г. Г. Капустіна	ДГ	21,76	56,30	23,5	25859	25990	0,55
------------------------------	----	-------	-------	------	-------	-------	------

**Відносна похибка розрахунків k_C за елементним складом вугілля за формулою (7) та за даними технічного аналізу за встановленими емпіричними залежностями, наведеними в табл. 4.*

Висновки

1. Розроблено метод розрахунку та прогнозування викидів CO₂, що утворюється при спалюванні вугілля марок Г, ДГ та їх сумішей на ТЕС, за даними технічного аналізу. Метод базується на використанні коефіцієнта викиду вуглецю палива k_C , г/ГДж. Для розрахунку коефіцієнтів викиду вуглецю k_C за стандартною методикою необхідна інформація про масовий вміст вуглецю S^r та нижчу теплоту згоряння Q_i^r на робочий стан палива. Розроблений метод використовує дані технічного аналізу вугілля, оскільки на практиці на ТЕС постачаються партії вугілля, які супроводжуються тільки технічним аналізом в якому надаються нижча теплота згоряння палива Q_i^r та вміст золи A^d .

2. При створенні методу були застосовані сучасні інформаційні технології для отримання більш точних результатів. Статистична обробка виконувалася вбудованими функціями Microsoft Excel: були розраховані середні значення коефіцієнтів викиду вуглецю, стандартні відхилення σ та довірчий інтервал Δ для встановлених середніх значень k_C . Середнє значення коефіцієнту викиду палива для вугілля марки Г складає 25421 г/ГДж, марки ДГ — 25981 г/ГДж, суміші вугілля марок Г та ДГ — 25540 г/ГДж.

3. Розробку виконано на основі 100 зразків енергетичного вугілля марок Г та ДГ з нижчою теплотою згоряння на робочий стан в діапазоні від 16,6 до 29,5 МДж/кг та зольністю на сухий стан у діапазоні від 7,2 до 44,3%. Встановлено емпіричні залежності для розрахунку коефіцієнтів викиду вуглецю виду $k_C = a + bQ_i^r + cA^d$ для вугілля марок Г, ДГ та їх сумішей за даними технічного аналізу. Оскільки кількість зразків для кожної марки вугілля більша за кількість невідомих коефіцієнтів a, b, c , то для їх визначення був використаний метод найменших квадратів. Рішення було реалізовано у створеній авторами комп'ютерній програмі на мові фортран. Для вугілля марки Г для зольності 19,4—37,9% встановлена залежність має вигляд $k_C = 32522 - 246Q_i^r - 53A^d$; для ДГ для зольності 18,5—38,0% — $k_C = 43657 - 602Q_i^r - 193A^d$; для суміші марок Д та ДГ 20,1—40,0 — $k_C = 36964 - 393Q_i^r - 114A^d$.

4. Верифікація методу показує, що похибка розрахунків складає менше 1,0%, що відповідає вимогам Порядку здійснення моніторингу та звітності щодо викидів парникових газів.

Література

Вольчин, І. А., & Гапонич Л. С. (2018). Викиди діоксиду вуглецю на українських вугільних теплових електростанціях. *Наукові праці НУХТ*, 24(6), 131—142. DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-6-17.

Кобзар, С. Г., Топал, О. І., Гапонич, Л. С., & Голенко, І. Л. (2021). Дослідження процесу сумісного спалювання природного газу з RDF в модельній камері згоряння. *Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження*, 4, 67—73. Взято з <https://doi.org/10.20535/2617-9741.4.2021.248946>.

Arul, B. S. (2018). Analysis and monitoring of flue gases using MATLAB and pollution control by neutralization. *IJLTEM Journal*, 2(3), 30—35. Взято з https://www.academia.edu/40298512/Analysis_and_Monitoring_Of_Flue_Gases_Using_MATLAB_and_Pollution_Control_By_Neutralization?email_work_card=view-paper.

Brandão, Y. F. F., & Santos, V. L. dos A. (2023). Case study of the use of the Matlab/Simulink tool in the management of coal combustion in Brazil's emission standards. *Preprint (Version 1) available at Research Square*. Взято з <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2752061/v1>.

Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Federici, S. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2. Energy*. Switzerland: IPCC. Взято з <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol2.html>.

Chernyavskyy, M. (2023). CO₂ emissions from coal-b thermal power plants of Ukraine since 1990 and the main factors for their calculation. *International Journal of Energy for a Clean Environment*, 24(1), 97—113. DOI: 10.1615/InterJEnerCleanEnv.

Damayanti, R., & Khaerunissa, H. (2018). Carbon dioxide emission factor estimation from Indonesian coal. *Indonesian Mining Journal*, 21(1), 45—58. DOI: 10.30556/imj.Vol21.No1.2018.687.

Gaji, M. M., & Ejilaj, R. I., Bello, A. A. (2022). Modeling and simulation of a refuse derived fuel incineration process with flue-gas cleaning and heat recovery sections using ANSYS fluent. *GSJ*, 10(8), 591—602. DOI: 10.13140/RG.2.2.26464.56328.

Hu, Y., & Shi, Y. (2021). Estimating CO₂ emissions large scale coal-fired power plants using OCO-2 observations and emission inventories. *Atmosphere*, 12(7), 811. DOI: 10.3390/atmos12070811.

Juhrich, K. (2016). *CO₂ emission factors for fossil fuels: Climate Change*. German Environment Agency: Umweltbundesamt. Взято з <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/co2-emission-factors-for-fossil-fuels>.

Lee, J., Im, G., Yoo, J.-H., Lee, S., & Je, E.-C. (2015). Development of Greenhouse Gas (CO₂) Emission Factor for Korean Coal Briquettes. *Energy Sources, Part A: Recovery Utilization and Environmental Effects*, 37(13), 1415—1423. Взято з <https://doi.org/10.1080/15567036.2011.610868>.

Ma, C.-M., Ge, Q.-S. (2014). Method for calculating CO₂ emissions from the power sector at the provincial level in China. *Adv. Clim. Change Res*, 5(2), 92—99. doi: 10.3724/SP.J.1248.2014.092.

Pan, K., Zhu, H., Chang, Z., Wu, K., Shan, Y., & Liu, Z. (2013). Estimation of coal-related CO₂ emissions: the case of China. *Energy & Environment*, 24(7/8), 1309—1321. Взято з <http://www.jstor.org/stable/43735233>.

Quick, J. C., & Marland, E. (2019). Systematic error and uncertain carbon dioxide emissions from U. S. power plants. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 69(5), 646—658. DOI: 10.1080/10962247.2019.1578702.

Quick, J. C. (2010). Carbon dioxide emission factors for U. S. coal by origin and destination. *Environ Sci Technol*, 44(7), 2709—14. doi: 10.1021/es9027259.

Quick, J. C. (2014). Carbon dioxide emission tallies for 210 U. S. coal-fired power plants: A comparison of two accounting methods. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 64(1), 73—79. DOI: 10.1080/10962247.2013.833146.

Shamshirband, S., Hadipoor, M., Baghban, A., Mosavi, A., Bukor, J., & R. Várkonyi-Kóczy, A. (2019). Developing ANFIS-PSO model to predict mercury emissions in combustion flue gases. *Preprints 2019*, 2019050124. Взято з <https://doi.org/10.20944/preprints201905.0124.v3>.

Thabit, Q., Nassour, A., & Nelles, M. (2022). Flue gas composition and treatment potential of a waste incineration plant. *Applied Sciences*, 12(10), 5236. Взято з <https://doi.org/10.3390/app12105236>.

Volchyn, I. A., Haponych, L. S., & Mokretskyy, V. O. (2022). Estimation and forecasting of carbon dioxide emissions from coal-fired thermal power plants in Ukraine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 80—88. Взято з <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-5/080>.

Volchyn, I. A., Haponych, L. S., & Przybylski, W. Ja. (2021). Current state and forecast of sulfur dioxide and dust emissions at thermal power plants of Ukraine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 87—93. DOI: 10.33271/nvngu/2021-5/087.

Volchyn, I., & Haponych, L. (2019). Emissions of Greenhouse Gases from Ukrainian Thermal Power Plants. *Energy Technologies & Resource Saving*, 4, 3—12. DOI: 10.33070/etars.4.2019.01.

Wolfberg, J. (2006). *Data Analysis Using the Method of Least Squares: Extracting the Most Information from Experiments*. Berlin; New York: Springer. DOI: 10.1007/3-540-31720-1.

Zheng, Y., Liu, F., & Hsieh, H. (2013). *U-Air: when urban air quality inference meets big data*, KDD'13: Proceedings of the 19th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. New York: Association for Computing Machinery. Взято з <https://chbrown.github.io/kdd-2013-usb/kdd/p1436.pdf>.

CONCEPTUAL BACKGROUND FOR COMPOSING THE COMBINED DIET FOR PEOPLE LIVING IN EXTREME CONDITIONS

G. Simakhina, N. Naumenko

National University of Food Technologies

R. Mykhailova

LLC "Firma "FAVOR"

O. Masliychuk

Ivan Franko Lviv National University

Key words:

*Nutrition
Diet
Extreme conditions
Biologically active
components
Food additives*

Article history:

Received 07.05.2024
Received in revised form
28.05.2024
Accepted 10.06.2024

Corresponding author:

G. Simakhina
E-mail:
npnuht@ukr.net

Citation: Сімахіна Г. О., Науменко Н. В., Михайлова Р. В., Маслійчук О. Б. (2024). Концептуальні засади формування комбінованого харчового раціону для екстремальних умов життєдіяльності. *Наукові праці НУХТ*, 30(3), 144—155.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-13

ABSTRACT

The Ukrainian nation, primarily special contingents (military personnel, rescue squads, workers of the State Service of Emergency Situations etc.), upon living in today's wartime conditions, are facing the constant impact of negative environmental factors. In turn, it would lead to malfunctioning of all the organs and systems of the human body and, as a consequence, to the losses of vigorousness and fighting ability.

The special conditions of keeping their duties by the special contingents appear to significantly change the needs of the body in the certain ingredients. This fact would pose the new challenges to the foodstuff designers and producers, as well as the nutritionists, particularly to elaborate the recommendations for consumption of food products, based on evaluation of their adequacy in specific situations.

The experience accumulated by nutritiology, dietology and clinical approvals of foodstuffs unambiguously evidences that biologically active food components are capable of controlling various functions in the body, normalizing the state of human body and preventing it from alimentary diseases. According to the statistics, the most significant index in evaluating the health state is the lifestyle that determines the health state by 50%. In turn, nutrition is the essential constituent of this index (circa 80%). There are emerging more and more new scientific data about the importance of human's food preferences in terms of health maintenance, disease prevention and longevity.

This article is oriented primarily at the substantiation of the advantages of the food diversity in an everyday diet for both the mass consumption and the special contingents, and thereafter the expedience of combination of traditional, novelty foodstuffs and food additives in diets. There is proven that each group would display its positive impact on the human body only within a combined diet, upon acting harmoniously and synergetically.

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ХАРЧОВОГО РАЦІОНУ ДЛЯ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Г. О. Сімахіна, Н. В. Науменко

Національний університет харчових технологій

Р. В. Михайлова

Товариство з обмеженою відповідальністю «Фірма «ФАВОР»

О. Б. Маслійчук

Львівський національний університет імені Івана Франка

У нинішніх екстремальних умовах воєнного стану населення України, передусім спецконтингенти (військовослужбовці, рятувальники, представники Державної служби з надзвичайних ситуацій тощо) перебувають під постійним впливом негативних чинників довкілля, що призводить до порушення функціонування всіх органів та систем організму і, як наслідок, втрати життєздатності й боєздатності.

Особливі умови виконання своїх обов'язків спецконтингентами істотно змінюють потреби організму в певних інгредієнтах, і це ставить нові виклики перед розробниками харчових продуктів, їх виробниками та дієтологами щодо рекомендацій споживання продуктів на основі оцінки їх адекватності в конкретних ситуаціях.

Для відновлення порушених функцій організму ключова роль належить збалансованому оздоровчому харчуванню, оскільки доказова медицина показала нерозривний зв'язок між харчуванням і станом здоров'я людини. Досвід, накопичений у нутриціології, дієтології, клінічних апробаціях харчових продуктів однозначно свідчить про те, що біокомпоненти їжі контролюють різні функції в організмі людини, позитивно впливаючи на нормалізацію стану здоров'я і запобігаючи виникненню аліментарних хвороб. Статистично найбільш значущим в оцінці стану здоров'я є комплексний показник — спосіб життя, який на 50% визначає наше здоров'я. Харчування є основним складником цього показника, майже на 80%. З'являється також дедалі більше наукових фактів щодо того, наскільки важливими є харчові уподобання людини з точки зору зміцнення здоров'я, запобігання хворобам і подовження життя.

Пропонована стаття орієнтована на обґрунтування переваг різноманітності харчових продуктів у щоденному раціоні як для масового споживання, так і для спецконтингентів, і доцільності поєднання в раціонах традиційних та оздоровчих харчових продуктів і дієтичних добавок. Саме при взаємній присутності кожна із цих груп комбінованого раціону розкриває свій позитивний потенціал впливу на організм людини, діючи гармонійно, злагоджено, синергічно.

Ключові слова: харчування, раціон, екстремальні умови, біокомпоненти, дієтичні добавки.

Постановка проблеми. Вітчизняні науковці розробили широкий асортимент продуктів (Стеценко, Сімахіна, Гойко, & Халапсіна, 2016; Тележенко, Дзюба, &

Кашкано, 2018) та напоїв (Мотузка, & Кошельник, 2019) на традиційних харчових середовищах, дієтичних натуральних добавок (Капустян, & Черно, 2018), призначених для спецконтингентів (Українець, Сімахіна, Стеценко, Науменко, & Кочубей-Литвиненко, 2017) та масового споживання. Існуючий асортимент надає широкі можливості підібрати продукти, повністю адекватні потребам організму в несприятливих умовах довкілля, в тому числі продукти оздоровчого, профілактичного, лікувального призначення.

Так, з'явилися розробки зі створення продуктів для ентерального харчування (Антюшко, 2021); розробляються новітні технології безглютенних харчових продуктів (Юдіна, Романенко, & Безрученко, 2020); формується вітчизняний ринок безглютенних і низькоглютенних молочних продуктів (Юдіна, & Серенко, 2021).

Сучасні тенденції формування ринку оздоровчих продуктів на молочній основі характеризується зростанням попиту на продукцію з регульованим нутрієнтним складом, високим вмістом есенціальних сполук, відсутністю штучних добавок з індексом Е, широким спектром фізіологічних ефектів тощо, призначених для харчування всіх вікових категорій населення в нормальних і екстремальних умовах життєдіяльності.

Безумовним лідером у виробництві таких продуктів в Україні є підприємство «ТОВ Фірма «Фавор»» (<https://favor-ama.kiev.ua/>). Посилена увага до нього викликана високим попитом на продукцію (що свідчить про зростання зацікавленості споживачів до власного харчування) та вузьким поки що асортиментом таких товарів вітчизняного виробництва. Молочні вироби призначено передусім для дітей, однак вони повністю задовольняють фізіологічні потреби і дорослого організму.

Розглядаючи дані продукти як обов'язковий складник комбінованих харчових раціонів, слід зазначити також, що за класифікацією продуктів спеціального дієтичного призначення, запропонованою в (Kliem, & Givens, 2011), продукція фірми «Фавор» повністю підпадає під такі категорії:

- збагачені молочні продукти з додаванням властивих їм (мінеральних речовин, вітамінів) і невластивих компонентів (соковмісних напоїв, продукції НВ ТОВ «Житомирбіопродукт» — ліпофільний комплекс з високим вмістом ПНЖК омега-3 та омега-6);

- оздоровчі молочні продукти підвищеної біологічної та фізіологічної цінності;
- молочні продукти з додаванням компонентів, які мають виражений оздоровчий або лікувальний ефекти (пробіотичні та пребіотичні компоненти, екстракти стевії тощо).

Уже в нинішній час підприємство постачає військовослужбовцям кисломолочну продукцію з підвищеним вмістом пробіотиків.

Забезпечення населення України збалансованим за основними біокомпонентами харчуванням, конче необхідним в екстремальних умовах життєдіяльності, потребує нових підходів до вирішення цього надзвичайно важливого завдання. Про це свідчить хоча б той факт, що саме завдяки біологічно активним речовинам, якими збагачують традиційні харчові середовища, спожита їжа встановлює гармонію між нутрієнтами та гомеостазом організму людини. І це є надзвичайно важливим чинником, бо, наприклад, східна медицина переконана в тому (Frawley,

1996), що всі хвороби спричинені внутрішнім дисбалансом, а здоровий раціон, що містить усі необхідні біокомпоненти, спроможний його подолати.

Американський науковець, доктор медицини Дьюк Джонсон процес розуміння кожною людиною необхідності змінити свій спосіб життя, свої харчові уподобання, спрямовані на поліпшення стану здоров'я, на подовження тривалості активного довголіття називає революцією оптимального здоров'я (Johnson, 2009). І саме цей учений одним із перших звернув увагу на дієтичні добавки як надзвичайно важливу частину стратегії досягнення оптимального здоров'я (оптимальним здоров'ям автор називає той найкращий стан, у якому може перебувати людина залежно від її генетичних особливостей, способу життя, раціону харчування, умов довкілля).

Тому вивчення теоретичних і практичних аспектів раціонального поєднання традиційних і нових харчових продуктів для раціонів різних груп споживачів є актуальною, багатофункціональною та важливою проблемою у стратегії підтримання здоров'я української нації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Один із основних викликів перед харчовою промисловістю України — модифікація рецептур традиційних продуктів на оздоровчі і розроблення принципово нового їх покоління. Асортиментна політика в цьому напрямі повинна відповідати світовим тенденціям, які характеризуються стрімким розвитком сегментів новітніх або інноваційних харчових продуктів (novel or innovation foods), готових до вживання страв (ready-to-eat), продуктів, виготовлених за новими технологіями або з нової сировини (novel food) та продуктів спеціального призначення (Голуб, 2006).

Саме оздоровчий складник у нових раціонах компенсує дефіцит біокомпонентів, властивий традиційним продуктам, в організмі людини; здійснює захисну роль від несприятливих чинників довкілля на рівні бар'єрних тканин організму (біомембран, стінок судин тощо), поліпшує незаражувальну функцію печінки, знешкоджує шкідливі мікроорганізми, постачає організм сполуками антиканцерогенної й антитоксичної дії. Біокомпоненти оздоровчої складової посилюють адаптаційні резерви та психологічну стійкість організму при комбінованому впливі екстремальних чинників довкілля; прискорюють відновлення метаболічних процесів після підвищених фізіологічних та нервово-емоційних навантажень, здійснюють біорегуляторну діяльність (Капустян, Черно, & Коваленко, 2020).

Зрозуміло, що при формуванні такого раціону необхідно науково обґрунтувати підбір продуктів, компоненти яких діяли б синергічно на рівні засвоєння в шлунково-кишковому тракті, що підвищуватиме їх ефективність і, відповідно, позитивний вплив на функціонування систем організму.

І об'єктивні, і суб'єктивні умови сьогодення свідчать на користь поєднання у раціонах якомога ширшого асортименту харчових продуктів: і тих, що виробляються харчовою промисловістю (традиційні продукти), і тих, що лише започатковують новий сектор ринку (оздоровчі продукти та дієтичні добавки). Екстраполюючи таку ситуацію на національний рівень, стає зрозумілим, що для нашої держави, яка третій рік поспіль перебуває в умовах воєнного стану, вироблення нової стратегії до формування харчових раціонів, передусім для військовослужбовців, є особливо значущим.

Досі питання формування таких комбінованих раціонів не розглядали ні нутриціологія, ні гігієна харчування, ні дієтологія. Лише періодично з'являються рецептури традиційних продуктів, збагачених харчовими волокнами, продуктами перероблення зернових та плодово-овочевих культур тощо, не об'єднаних в одному раціоні.

Тому проблема забезпечення населення України, передусім військовослужбовців, в екстремальних умовах життєдіяльності є сьогодні однією із найактуальніших. Із цих причин вивчення теми є важливим напрямом досліджень, у тому числі з точки зору продовольчої безпеки (Шевченко, Сімахіна, & Шевченко, 2020). Частковому вирішенню цієї проблеми присвячено пропоновану статтю.

Мета статті: окреслити концептуальні засади формування комбінованих харчових раціонів населення для екстремальних умов життєдіяльності шляхом раціонального поєднання традиційних та оздоровчих продуктів, а також натуральних дієтичних добавок, урахувавши їх взаємодоповнюючу дію та доведені позитивні ефекти.

Матеріали і методи. Для досягнення мети обрано метод огляду й аналізу праць сучасних українських і зарубіжних учених із питання розроблення харчових продуктів для екстремальних умов довкілля з використанням даних доказової медицини. Враховано результати власних попередніх досліджень та абстрактно-логічні умовиводи на основі осмислення ролі фізіологічних ефектів різних харчових продуктів на функціонування організму людини в нормальних та екстремальних умовах життєдіяльності. Пошук публікацій здійснювали із застосуванням світових наукометричних баз PubMed та Google Scholar.

Викладення основних результатів дослідження. Цитований уже американський доктор медицини Дьюк Джонсон висловив ще одну науково обґрунтовану тезу: «...макронутрієнти можуть бути отримані організмом у більшості випадків у необхідних кількостях лише за рахунок поповнення раціону відповідними дієтичними добавками, оскільки надходження їх оптимальної кількості лише з традиційними харчовими продуктами неможливе». Це твердження підкреслює доцільність введення до комбінованого харчового раціону для екстремальних умов життєдіяльності натуральних дієтичних добавок різнобічного спрямування.

Відповідно до Закону 771/97—ВР «Про основні принципи та вимоги до безпеки та якості харчових продуктів (редакція від 16.01.2020)», дієтична добавка — це харчовий продукт, що споживається у невеликих кількостях додатково до звичайного харчового раціону, який є концентрованим джерелом поживних речовин, у тому числі білків, жирів, вуглеводів, вітамінів, мінеральних речовин, і виготовлений у вигляді таблеток, капсул, драже, порошків, рідин або в інших формах (Чуєшов та ін., 2012). Це офіційне визначення дає змогу правомірно використовувати дієтичні добавки як істотну складову оздоровчого харчування, в тому числі при формуванні комбінованих раціонів для екстремальних умов життєдіяльності.

Доцільно обговорити детальніше ще один новий складник майбутнього комбінованого раціону. Він, власне, і визначає його профілактичну, лікувальну, функціональну спрямованість — оздоровче харчування. Це принципово нове покоління продуктів на вітчизняному та світовому ринках, і саме ця категорія сьогодні є трендом розвитку харчової промисловості провідних країн світу.

В основі конструювання, виробництва та споживання оздоровчих продуктів має бути концепція оздоровчого харчування. У законодавчих актах її формулювання поки що відсутнє, тому автори цієї статті пропонують таке визначення: «Концепція оздоровчого харчування — це сукупність сучасних поглядів та взаємопов'язаних потоків знань (як нових, так і вже осмислених наукою) щодо єдності усіх різноманітних функцій, які утворюють велику систему людина — харчування — здоров'я, і визначають основні напрями, стратегію, тактику створення нових продуктів профілактичної та оздоровчої дії, адекватних потребам організму людини в конкретних умовах життєдіяльності».

Для практичної реалізації цієї концепції автори статті науково обґрунтували основний напрям інновацій та визначили пріоритетні засади розвитку високо-ефективних технологій оздоровчих продуктів (Simakhina, & Naumenko, 2023).

На основі наведених міркувань окреслено відомі на сьогодні функції традиційних та оздоровчих продуктів, включаючи дієтичні добавки, що визначаються наявними у їхньому складі біокомпонентами. Зрозуміло, що перелік функціональних властивостей оздоровчих продуктів буде постійно розширюватись, оскільки ця галузь харчової промисловості і медико-біологічні дослідження нової продукції стрімко розвиваються.

Відповідно до даних табл. 1, за традиційними харчовими продуктами у складі комбінованих раціонів залишаються притаманні їм функції: **енергетична** (забезпечення організму енергією шляхом її виділення в процесі метаболізму вуглеводів, жирів, білків), **пластична** (забезпечення організму пластичними речовинами для побудови клітин, тканин, органів передусім за рахунок надходження білків; для побудови кісткової тканини велике значення має надходження до організму мінеральних речовин), **смакова** (регулювання харчової мотивації за рахунок надходження з їжею ефірних олій, органічних кислот, прянощів тощо); **приспосувально-регуляторна** (регулювання діяльності систем травлення, виділення, терморегулювання).

Таблиця 1. Функціональні ефекти нутрієнтів комбінованого харчового раціону

Комбіновані харчові продукти		
Функції продуктів	Традиційні	Оздоровчі, в тому числі дієтичні добавки
	Основні біокомпоненти	
Енергетична	Білки, жири, вуглеводи	Білки, жири, вуглеводи
Пластична	Білки, мінеральні елементи	Білки, мінеральні елементи в органічній формі
Смакова	Ефірні олії, органічні кислоти, цукри, прянощі	Ефірні олії, органічні кислоти, цукри, прянощі
Приспосувально-регуляторна	Ферменти, гормони, білки	Ферменти, гормони, білки
Підвищення біологічної цінності раціону	—	Вітаміни, мінерали в органічній формі, мінерні сполуки
Збалансованість компонентного складу	—	Оптимальне співвідношення білки : жири : вуглеводи, синергізм вітамінів і мінералів

Продовження таблиці 1

Лікувально-профілактична, антиоксидантна	—	Вітаміни-антиоксиданти, біофлавоноїди, ПНЖК, мінерали в органічній формі
Біорегуляторна, адаптогенна	—	Рослинні біорегулятори, пептидні регулятори тваринного походження, ферменти
Імунорегуляторна	—	Комплекс вітамінів А, С, Е, вітамін D ₃ , цинк, селен, глутатіон, комплекс вітамінів групи В
Реабілітаційна	—	Вітаміни, мінерали в органічній формі, фітоекстракти, апіпродукти
Стресолімітуюча	—	Мінерали в органічній формі, вітаміни групи В, фітоекстракти

Профілактична складова раціону (оздоровчі продукти та дієтичні добавки) забезпечує вирішення ряду першочергових завдань сьогодення. На прикладі охарактеризованої вище молочної продукції фірми «Фавор», користуючись даними доказової медицини, можна прогнозувати їхню здатність виявляти такі фізіологічні ефекти:

- компенсувати дефіцит есенціальних нутрієнтів, який виникає під впливом несприятливого зовнішнього середовища, а також за рахунок їх нестачі у складі традиційних харчових продуктів;
- покращити функціональний стан органів та систем організму;
- підвищити захисні функції імунної системи;
- підвищити фізичну витривалість та запобігти вияву хронічної втоми;
- посилити адаптаційні резерви організму, психологічну стійкість в екстремальних ситуаціях;
- забезпечити адекватні фізіологічні та психологічні реакції на стресори, запобігаючи духовній та моральній спустошеності.

Слід відзначити ще один позитивний ефект комбінованого раціону, сутність якого полягає в тому, що для оздоровчих продуктів введено поняття «ефективність» — це узагальнений показник, який характеризує властивості таких продуктів за наступними критеріями (Cena, & Calder, 2020):

- збереження і поліпшення стану здоров'я споживачів при постійному вживанні оздоровчих продуктів;
- зниження ризику аліментарних хвороб;
- запобігання дефіциту основних біологічно активних речовин;
- стійкий позитивний ефект як у профілактиці хвороб, так і їх лікуванні.

Завдяки таким особливостям оздоровчих продуктів їх включення до складу щоденного раціону споживачів є обґрунтованим і доцільним.

Формування комбінованого харчового раціону обґрунтовується також технологічними та економічними чинниками: в нинішній час, та й у найближчі роки, харчова промисловість України неспроможна забезпечити населення винятково

категорією оздоровчих продуктів — на сьогодні частка такої продукції у загальному обсязі виробництва становить 5—8%, переважно за рахунок хлібобулочних виробів та молочних продуктів. Тому потрібно віддавати перевагу традиційним продуктам, разом з тим, ставлячи до них вимогу модифікації рецептур за рахунок введення до їхнього складу есенціальних біологічно активних речовин, наближаючи таким чином їхні функціональні спроможності до рівня оздоровчих.

Під час компонування раціонів для спецконтингентів, наприклад, військово-службовців у зоні бойових дій, коли складно забезпечити їх свіжими продуктами, гарячими стравами тощо, варто віддати перевагу продуктам з тривалими термінами зберігання. Це можуть бути перші і другі страви на основі сублімованих напівфабрикатів тваринного і рослинного походження (Sokolowska, & Grotkiewicz, 2020), напої з плодоовочевих порошків розпилювального сушіння (Петрова, 2013), дієтичні добавки різного функціонального спрямування, борошняні, кондитерські вироби тощо.

Раціон харчування для військовослужбовців повинен включати підвищені концентрації білків і вітамінів (добові потреби мають бути збільшені від фізіологічно необхідних до терапевтичних доз), оскільки в екстремальних умовах витрати цих нутрієнтів значно зростають у результаті інтенсивної діяльності нервових клітин. Важливим джерелом білків можуть стати сушені напівфабрикати культивованих грибів — печериць і гливи (Simakhina, Naumenko, Bazhay-Zhezherun, & Kaminska, 2022), які, на відміну від лісових грибів, не містять важких металів, радіонуклідів та інших токсичних сполук. Організм військовика повинен в достатній кількості отримувати і ліпотропні сполуки, наприклад, із гречаною та вівсяною крупами, овочами, фруктами.

При формуванні раціонів для військових слід урахувати і той чинник, що вони можуть потрапляти під радіоактивне опромінення, виконуючи бойові завдання в зоні уражень або працюючи з радіоактивними сполуками. Для захисту організму від іонізуючого опромінення в раціоні мають бути мінеральні елементи кальцій (хімічний аналог стронцію) та калій (хімічний аналог цезію), причому у кількостях, що в 2—3 рази перевищують їхню фізіологічну потребу, тобто 2—3 г кальцію на 8—10 г калію. До того ж мінеральні елементи мають бути в органічній формі, яка забезпечує їх максимальне засвоєння, тоді як із неорганічних сполук мінерали засвоюються лише на 5—10% від їх внесеної у харчовий продукт кількості. Майже всі есенціальні мінеральні елементи в Україні у вигляді дієтичних добавок виробляє ТОВ «Еліт-фарм» (м. Дніпро), тому для практичного їх застосування можна скористатись продукцією цього товариства. Потужний радіопротекторний ефект мають також сублімовані порошки ягідних та овочевих культур (отримані авторами статті у проблемній науково-дослідній лабораторії НУХТ), що підтверджено дослідженнями в експерименті на безпородних самицях білих щурів, проведеними в Національному науковому центрі радіаційної медицини (Сімахіна, 2019).

За даними табл. 2, усі досліджені кріопорошки належать до таких, що мають значну чи високу ефективність щодо виведення радіонуклідів цезію та стронцію з живого організму.

З точки зору радіопротекторної дії важливу роль відіграють також харчові волокна (комплекс пектинових речовин, протопектину, лігніну, геміцелюлози), основним природним джерелом яких є зернові та плодоовочеві культури (Kareliants, & Zhurlova, 2017). За рекомендаціями експертів ВООЗ добова потреба у харчових волокнах в нормальних умовах життєдіяльності становить 25—30 г і, зрозуміло, що при несприятливих чинниках довкілля ця кількість має бути збільшена у 1,5—2 рази.

Таблиця 2. Ефективність захисної дії БАР сублімованих продуктів щодо радіонуклідів ⁹⁰Sr та ¹³⁷Cs через 30 діб експерименту

Сублімовані продукти	Ефективність захисної дії БАР, %	
	щодо ¹³⁷ Cs	щодо ⁹⁰ Sr
Цедра citrusових	65 ± 0,14	96,4 ± 0,41
Смородина	53,2 ± 0,32	75,0 ± 0,17
Цукровий буряк	31,3 ± 0,12	66,1 ± 0,22
Яблука	30,2 ± 0,44	64,2 ± 0,43
Морква	21,6 ± 0,27	46,5 ± 0,19
Картопля	18,8 ± 0,23	40,6 ± 0,15
Топінамбур	11,9 ± 0,31	34,0 ± 0,28

Основними недоліками плодоовочевої сировини як одного з основних складників харчового раціону є її сезонність; високий вміст вологи, що різко обмежує термін зберігання (3—5 діб); складність забезпечення військових свіжою сировиною у місцях їх дислокації. Тому при формуванні комбінованих харчових раціонів доцільно широко використовувати сублімовані продукти; продукти низькотемпературного сушіння; в'ялені овочі та фрукти з проміжною вологістю (частково зневоднені). За зразок виробництва таких продуктів можна використати також досвід отримання консервованих і концентрованих продуктів для космонавтів (Space Food, 1999): порошкоподібних, охолоджених, заморожених, сублімованих, термостабілізованих тощо. Ба більше, українські науковці, зокрема представники Національного університету харчових технологій (Сімахіна, Науменко, Кочубей-Литвиненко, & Камінська, 2022), Інституту технічної теплофізики НАН України (Долинський, & Малецька, 2015), розробили ряд сучасних технологій раціонального й ефективного перероблення сільськогосподарської і пряно-ароматичної сировини з використанням щадних технологічних режимів, які забезпечують отримання й тривале зберігання готової продукції без погіршення її якісних та органолептичних показників, і одночасно надають можливість максимально зберегти весь цінний потенціал сировини.

З точки зору сучасних знань нутриціології та нутригеноміки (Капрельянц, Пожіткова, Величко, Охотська, & Білик, 2023), при дієтологічних рекомендаціях щодо використання тих чи тих комбінованих раціонів необхідно враховувати також чинники, які впливають на харчову поведінку споживачів незалежно від умов довкілля. На думку науковців (Абсалямова, 2018), знання харчових стереотипів людини допоможе дієтологам успішно впоратись з розладами травлення у пацієнтів, підібрати раціон, який найбільш адекватний потребам у кожному конкретному випадку, і найбільш ефективний в екстремальних умовах життєдіяльності.

Лариса Абсаямова виділяє такі чинники впливу на харчову поведінку людини, яким треба приділяти особливу увагу при підборі індивідуалізованого раціону:

- **культурні цінності**, оскільки культура у широкому розумінні цього терміна є основою всіх харчових стереотипів; саме на основі цього чинника споживач може суб'єктивно оцінити вдале чи невдале поєднання харчових продуктів у комбінованому раціоні, який є сукупністю продуктів традиційних та оздоровчих;

- **сприйняття, переконання, установки**: на рівні цього чинника необхідна широка просвітницька діяльність щодо безпосереднього зв'язку між харчуванням і станом здоров'я людини щодо формування інших звичок і іншого сприйняття принципово нового покоління харчових продуктів — продуктів оздоровчого, лікувального, профілактичного призначення. Така просвітницька діяльність особливо важлива з огляду на те, що засоби масової інформації дуже часто дають інформацію, необгрунтовану науково, жодне рекламне повідомлення щодо харчування, їжі, харчової поведінки не є однозначно ефективним і часто вводить споживачів в оману;

- **соціальні впливи**: цей чинник виявляється у наслідуванні харчової поведінки друзів, знайомих, які на власному досвіді переконались в ефективності споживання оздоровчих харчових продуктів, отриманих лише з натуральної сировини, зі збалансованим складом, без використання будь-яких штучних добавок; існує ймовірність того, що брак соціальної підтримки здатний зруйнувати спроби індивіда змінити свої харчові звички на краще.

Висновки

У статті проаналізовано основні чинники, які пов'язують стан здоров'я людини з її харчуванням. Обгрунтовано необхідність поєднання в харчовому раціоні для нормальних і особливо екстремальних умов життєдіяльності трьох груп продуктів — традиційні, оздоровчі, дієтичні добавки. Саме завдяки такому підходу раціон надійно контролює переважну більшість функцій в організмі людини, нормалізує порушені в результаті негативних зовнішніх чинників процеси метаболізму, підвищує фізичну працездатність і психоемоційну стійкість. Важливу роль в адаптації конкретної людини до дещо зміненого раціону харчування мають також харчові звички, які формуються на певних етапах розвитку організму, доступність продуктів та їх різноманіття.

Виокремлено специфічні характеристики продуктів для військовослужбовців і визначено загальні орієнтири до виробництва таких продуктів у промислових масштабах.

Комбінований харчовий раціон за рахунок біокомпонентів, що входять до його складу, значно розширює (порівняно зі споживанням винятково традиційних продуктів) функціональні можливості харчування, що урізноманітнює позитивний його вплив на організм людини в будь-яких умовах життєдіяльності.

Для максимальної різноманітності харчування та збільшення щільності раціону цінними компонентами доречно складати меню на тиждень.

Подальші дослідження полягають у вдосконаленні рецептур традиційних харчових продуктів шляхом їх збагачення біологічно активними речовинами, у розширенні спектра оздоровчих продуктів і дієтичних добавок на основі використання сучасних знань фармаконутриціології, нутригеноміки, нутригенетики; підбори

конкретних продуктів на різних харчових основах для формування комбінованих раціонів, у тому числі і за принципами персоналізованого харчування.

Література

- Абсаямова, Л. М. (2018). Психологічний аналіз факторів, які впливають на харчову поведінку людини. *Psychological Journal*, 6 (16), 9—23. DOI: <https://doi.org/10.31108/1.2018.6.16>.
- Антюшко, Д. (2021). Вітамінна цінність продукту для ентерального харчування геродієтичного призначення. *Товари і ринки*, 3, 115—121. DOI: [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021\(39\)09](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021(39)09).
- Голуб, Б. (2006). Асортимент продуктів спеціального призначення на світовому ринку. *Товари і ринки*, 1, 59—65.
- Долинский, А. А., Малецкая, К. Д. (2015). Распылительная сушка: в 2-х т. Т. 2. Теплотехнологии и оборудование для получения порошковых материалов. Київ: Академперіодика.
- Капрельянц, Л. В., Пожиткова, Л. Г., Велічко, Т. О., Охотська, М. І., Білик, О. А. (2023). Сучасні тренди в омікс-біотехнологіях — від геноміки до персоналізованих дієт. *Наукові праці НУХТ*, 29 (5), 166—183. DOI: [10.24263/2225-2924-2023-29-5-16](https://doi.org/10.24263/2225-2924-2023-29-5-16).
- Капустян, А. І., Черно, Н. К. (2018). Дієтична добавка імунотропної дії на основі продуктів деструкції пробіотичних бактеріальних культур. *Наукові праці ОНАХТ*, 82(1), 108—115. DOI: <https://doi.org/10.15673/swonaft.v82i1.1016>.
- Капустян, А. І., Черно, Н. К., Коваленко, В. О. (2020). Муропептиди у функціональному харчуванні: монографія. Херсон: Олді-плюс.
- Мотузка, Ю. М., Кошельник, А. В. (2019). Ринок аналогів молочних продуктів рослинного походження: світові тренди. *Товари і ринки*, 3, 38—49. DOI: [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2019\(31\)04](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2019(31)04).
- Петрова, Ж. О. (2013). Створення енергоєфективних теплотехнологій виробництва функціональних харчових порошоків: дис. ... д-ра техн. наук (05.14.06). Київ.
- Сімахіна, Г. О. (2019). Нутрієнти для підвищення резистентності організму людини до антропогенних чинників. *Наукові праці НУХТ*, 25(6), 182—194. DOI: [10.24263/2225-2924-2019-25-6-24](https://doi.org/10.24263/2225-2924-2019-25-6-24).
- Сімахіна, Г. О., Науменко, Н. В., Кочубей-Литвиненко, О. В., Камінська, С. В. (2022). Кріоушкодження та кріозахист у холододових технологіях: монографія. Київ: Видавництво «Сталь».
- Стеценко, Н. О., Сімахіна, Г. О., Гойко, І. Ю., Халапсіна, С. В. (2016). Дослідження антиоксидантних властивостей антоціанів як необхідних компонентів харчових продуктів в екстремальних умовах життєдіяльності. *Наукові праці НУХТ*, 22(4), 167—174.
- Тележенко, Л. В., Дзюба, Н. А., Кашкано, М. А. (2018). Здорове харчування: практичні рекомендації: монографія. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС.
- Українець, А. І., Сімахіна, Г. О., Стеценко, Н. О., Науменко, Н. В., Кочубей-Литвиненко О. В. (2017). Нові продукти для раціонів військовослужбовців: монографія. Київ: Видавництво «Сталь».
- Чуєшов, В. І., Гладух, Є. В., Сайко, І. В., Ляпунова, О. О., Січкач, А. А., Крутьких, Т. В., Рубан, О. А. (2012). Технологія ліків промислового виробництва: підручник для студ. вищих навч. закл. Харків: НФаУ.
- Шевченко, О. Ю., Сімахіна, Г. О., Шевченко, А. О. (2020). Оздоровче харчування в контексті продовольчої безпеки в Україні. *Наукові праці НУХТ*, 26(6), 36—44. DOI: [10.24263/2225-2924-2020-26-6-6](https://doi.org/10.24263/2225-2924-2020-26-6-6).
- Юдіна, Т., Романенко, Р., Безрученко, О. (2020). Підвищення технологічного потенціалу аглютенної борошняної сировини. *Товари і ринки*, 4, 93—103. DOI: [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2020\(36\)09](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2020(36)09).
- Юдіна, Т., Серенко, А. (2021). Формування вітчизняного ринку безлактозних і низьколактозних молочних продуктів. *Товари і ринки*, 2, 33—39. DOI: [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021\(38\)03](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021(38)03).

- Cena, H., Calder, P. C. (2020). Defining a Healthy Diet: Evidence for the Role of Contemporary Dietary Patterns in Health and Disease. *Nutrients*, 12(2), 334—344. DOI: 10.3390/nu12020334.
- Frawley, D. (1996). *Ayurveda and the Mind*. Lotus Press.
- Johnson, D. (2009). *The Optimal Health Revolution*. Manjul Publishing House.
- Kapreliants, L., Zhurlova, O. (2017). Technology of wheat and rye bran biotransformation into functional ingredients. *International Food Research Journal*, 24(5), 1975—1979.
- Kliem, K. E., Givens, D. I. (2011). Dairy Products in the Food Chain: Their Impact on Health. *Annual Review of Food Science*, 2, 21—36.
- Simakhina, G., Naumenko, N., Bazhay-Zhezherun, S., Kaminska, S. (2022). Nutritional and biological value of dried champignon powders. *Ukrainian Food Journal*, 11(3), 448—457. DOI: 10.24263/2304-974X-2022-11-3-9.
- Simakhina, G., Naumenko, N. (2023). Scientific substantiation of innovations and the conceptions of healthy foods resource-effective technology development. *Wissenschaftliche Forschung unter modernen Bedingungen der Instabilität: Innovative Technologie, Verkehrsentwicklung, Architektur und Bauwesen. Monografische Reihe «Europäische Wissenschaft»*, 24(1), 76—84. DOI: 10.30890/2709-2313.2023-24-01-006.
- Sokolowska, D., Grotkiewicz, K. (2020). Initial treatment, sublimation drying and storage time of sweet pepper crisps: microbiological quality. Part II. *Agricultural Engineering*, 24(1), 69—78.
- Space Food (1999). *Space Food and Nutrition: An Educator's Guide with Activities in Science and Mathematics*. NASA.

SWEET POTATO AS A PROMISING RAW MATERIAL FOR PRODUCING ETHYL ALCOHOL AND CRAFT BEVERAGES BASED ON IT

K. Danilova, I. Hrinenko, R. Hrushetskyi
Institute of Food Resources of NAAS Ukraine

Key words:

Sweet potato
Fermentation
Ethyl alcohol
Craft liqueurs
Sensory assessment

Article history:

Received 19.04.2024
Received in revised form
03.05.2024
Accepted 16.05.2024

Corresponding author:

Katerina Danilova

E-mail:

dankoek77@gmail.com

Citation: Данилова К. О., Грінченко І. Г., Грушецький Р. І. (2024). Батат як перспективна сировина для одержання спирту етилового і крафтових напоїв на його основі. *Наукові праці НУХТ*, 30(3), 156—166.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-14

ABSTRACT

The relevance of the proposed study is determined by the prospect of using sweet potato as a raw material for the production of ethyl alcohol. Sweet potato ranks 7th among vegetables in terms of production per capita after wheat, rice, corn, potatoes, barley and cassava. Sweet potatoes are used in many countries for the production of starch, sugar, molasses, alcohol and bio-ethanol. It has a high yield, the starch content varies from 13% to 28%, the content of fermentable sugars is 6—15%, depending on the latitude where it is grown. Sweet potato carbohydrates are represented by dextrose, glucose, sucrose. Proteins in sweet potatoes are much less than in potatoes and they are represented mainly by albumins.

The purpose of the work was to study the technological aspects of the process of fermentation of sweet potatoes into ethanol and to evaluate the prospects of using alcohol from sweet potatoes for the production of craft beverages. Indicators of sweet potato and craft drinks were analyzed according to the methods adopted in the practice of alcohol production. The dessert sweet potato of "Betty" variety with a high content of carotene was studied. It was distinguished by an orange core and a pink-orange skin. Studies of the physicochemical parameters of the sweet potato variety showed the presence of 13% starch and 6.55% fermentable sugars in it, which confirms its suitability for ethanol production. The yield of alcohol from 1 ton of sweet potato was 64.88 dal. The content of unfermented carbohydrates in the mature brew was 0.121 g/cm³, which indicates a satisfactory fermentation process. Sensory characteristics of sweet potato alcohol were better than potato alcohol. Craft liquors developed on the basis of sweet potato alcohol had high sensory characteristics. Liqueur with the addition of clove, vanilla, black pepper and orange peel spices received the highest score from evaluators for appearance, color and taste.

БАТАТ ЯК ПЕРСПЕКТИВНА СИРОВИНА ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ СПИРТУ ЕТИЛОВОГО І КРАФТОВИХ НАПОЇВ НА ЙОГО ОСНОВІ

К. О. Данілова, І. Г. Гріненко, Р. І. Грушецький

Інститут продовольчих ресурсів НААН України

Актуальність запропонованого дослідження зумовлена перспективністю використання батату як сировини для виготовлення спирту етилового. Батат знаходиться на сьомому місці серед овочів по виробництву на душу населення після пшениці, рису, кукурудзи, картоплі, ячменю і маніюки. Солодка картопля використовується в багатьох країнах для виробництва крохмалю, цукру, патоки, спирту і біоетанолу. Батат — перспективна сировина для одержання спирту етилового. Він має високу врожайність, вміст крохмалю коливається від 13% до 28%, вміст зброджуваних цукрів складає 6—15% залежно від широт, де вирощується. Вуглеводи батату представлені декстрозою, глюкозою, сахарозою. Протеїнів у бататі міститься набагато менше, ніж у картоплі, і вони представлені в основному альбумінами.

У статті досліджено технологічні аспекти процесу збродження батату в етанол та оцінено перспективи використання спирту з батату для виготовлення крафтових напоїв. Показники батату і крафтових напоїв аналізували за методиками, прийнятими в практиці спиртового виробництва. Досліджували десертний сорт батату «Бетті» з високим вмістом каротину. Він відрізнявся помаранчевою серцевиною і рожево-помаранчевою шкіркою. Дослідження фізико-хімічних показників батату показали наявність у ньому 13% крохмалю та 6,55% зброджуваних цукрів, що підтверджує його придатність для виробництва етанолу. Вихід спирту з 1 т батату склав 64,88 дал. Вміст незброджених вуглеводів у зрілій бражці — 0,121 г/см³, що свідчить про задовільний процес бродіння. Органолептичні характеристики спирту з батату були кращими, ніж спирту з картоплі. Розроблені на основі спирту з батату крафтові лікери відрізнялись високими органолептичними характеристиками. Найвищий показник за зовнішній вигляд, колір і смак отримав лікер з додаванням спецій гвоздики, ванілі, чорного перцю і цедри апельсинової.

Ключові слова: батат, збродження, спирт етиловий, крафтові лікери, органолептична оцінка.

Постановка проблеми. Батат (*Ipomoea batatas L.*) — це бульбоподібна однорічна рослина, що відноситься до сімейства в'юнкових, утворює довгі стебла до 2—3 м, що стеляться по землі. Висота куща складає 15—18 см (Хі, & Ваана, 2022). Під час збирання листя і стебла не засихають, залишаються зеленими, містять легкозасвоюваний протеїн і слугують кормом у свіжому, висушеному і засилосованому вигляді. За поживністю не поступається зеленій масі бобових культур (Nguyen, Chen, & Huang, 2021). Батат походить з Південної Америки, а в наш час його культивують у субтропічних і тропічних країнах, зокрема в Індонезії, Індії та Китаї, де річний врожай перевищує 100 млн тонн (Muñoz-Rodríguez та ін.,

2018; Roullier, 2013). Бульби батату утворюються в результаті розширення бокових коренів і мають вагу від 200 г до 3 і більше кілограмів. Батат культивується вже більше 5000 років. Відомо, що члени експедиції Колумба в 1492 р. були першими європейцями, які спробували «солодку картоплю». Натепер у Китаї вирощується більше 80% усього батату у світі (Bovell-Benjamin, 2007).

Батат називають солодкою картоплею, але з біологічної точки зору ці культури різняться. Бульби батату містять багато крохмалю, а також низькомолекулярних вуглеводів, зокрема глюкози, чим і пояснюється його солодкий смак. Офіційної сортової класифікації батату не існує взагалі. Загалом, визначають овочеві, кормові і десертні, є й такі, що не утворюють бульби, а нарощують лише надземну вегетативну масу. У світі нараховується понад 6000 сортів батату (Shimizu, 2011; Loebenstein, & Thottappilly, 2009).

Сорти батату розрізняють за забарвленням шкірки (від білої до мідно-помаранчевої), кольором м'якоти бульби (від білого, кремового до фіолетового та абрикосового), а також формою — кулеподібною, як томат, або видовженою, як морква. Також сорти розрізняються за врожайністю, формуванням бульби, кольором і формою листя рослини (Loebenstein, & Thottappilly, 2009; Shimizu, 2011).

Батат знаходиться на сьомому місці серед овочів по виробництву на душу населення після пшениці, рису, кукурудзи, картоплі, ячменю і маніоки (Bleske, 2016—2017). Використовується в багатьох країнах для виробництва крохмалю, цукру, патоки, спирту й біоетанолу.

У лікєро-горілчаній промисловості використовують як спирт, одержаний з батату, так і солодкий сік, з якого роблять лікєри. Так, на основі спирту з батату готують лікєри *Orangecello* і *Raspberry* фірми *The Sweet Potato Spirit*, що знаходиться в Північній Кароліні, США. *The Sweet Potato Spirit* виробляє також лікєр з батату *Corbin Cash Sweet Potato Liqueur* міцністю 35° (Слинько, 2020).



Рис.1. Лікєр з батату *Corbin Cash Sweet Potato Liqueur*

До складу лікєру входить спирт, одержаний з батату, темний цукор, видобутий також з батату, ваніль і гвоздика. Вся суміш чотири роки витримується в дубових бочках. У лікєру квітковий аромат і горіховий смак, подібний витриманому віскі, деревні, коричні і гвоздичні ноти.

Відома американська «екологічна» компанія *Tamworth Distilling* зі штату Пенсильванія в рамках лінійки продукції *Art in the Age* виробляє з батату напій *Sweet*

Potato міцністю 40°, який за своїми властивостями є ароматизованою і злегка підсолодженою кленовим сиропом горілкою. Ці напої з батату використовують при приготуванні коктейлів як замітники горіхових лікерів.

У Кореї автентичний напій соджу виробляють не тільки з рису, але й з батату. На півдні Японії, на острові Кюсю, зі спирту, одержаного з батату, готують як місцеву горілку сьотю, так і лікери — популярний на пострадянському просторі сливовий (умецу) і менш солодкий цитрусовий юзусу (Слинько, 2020).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кількість крохмалю в бульбах батату інколи доходить до 27—30%, але, зазвичай, коливається від 17 до 20%. Кількість цукрів змінюється в більш широких межах. У деяких сортів у тропіках кількість цукру перевищує кількість крохмалю, в інших сортів кількість цукрів становить 1,5—2,0%. Співвідношення між вмістом цукру і крохмалю в одного й того ж сорту суттєво залежить від кліматичних умов, в яких він вирощувався. Вміст крохмалю і цукру в бататах, вирощених у різних умовах, наведено в табл. 1 (Хі, & Waana, 2022).

Таблиця 1. Вміст основних показників батату залежно від кліматичних зон вирощування

Умови вирощування	Вміст цукру, %	Вміст крохмалю, %
У жаркому кліматі	15—34	8—10
У північних країнах	2—4	14—28

Батати, вирощені в США, мають вміст крохмалю близько 20% з коливанням від 10 до 32%, а цукру — близько 6% (Хі, Waana, 2022).

Вуглеводи батату представлені декстрозою, глюкозою, сахарозою. Протеїнів у бататі міститься набагато менше, ніж у картоплі, і вони представлені в основному альбумінами, що добре засвоюються організмом. Жирів міститься невелика кількість — близько 0,6%. Забарвлюючі речовини бульби батату складаються з каротину і ксантофілу, двох пігментів, що міститься у великій кількості в моркві та інших рослинах. У бататі міститься також невелика кількість інуліну, з мінеральних солей найбільший вміст калію, фосфору, заліза. Вміст калію в бататі складає 204 мг/100 г, фосфору — до 28 мг/100 г, заліза — до 0,59 мг/100 г продукту (Юкало, Мельнічук, & Сельський, 2014). У табл. 2 наведена порівняльна характеристика батату і картоплі (Петрова, & Слободянюк, 2018).

Таблиця 2. Порівняльна характеристика батату і картоплі

Культура	Вміст вологи %	Вміст крохмалю, %	Вміст цукрів, у % до сирової ваги	Вміст протеїну %	Вміст жиру, %	Вміст клітковини, %	Врожайність т/га	Схильність до хвороб	Уражуваність колорадським жуком
Батат	69	8—28	2—15	1,8	0,7	1,3	35—100	Низька	Не вражається
Картопля	78	10—17	0,9—1,5	2,2	0,1	0,4	25—40	Висока	Вражається

Потенціал врожайності батату на півдні України сягає 100 т/га. За високої урожайності батату кількість одержаної сухої речовини в декілька разів більша, ніж у картоплі, і в 5—10 разів більша, ніж у пшениці, при цьому в сухій речовині батату міститься до 2 т цукру і 15 т крохмалю, навіть кількість білків може доходити до 0,75 т, що в 1,5 раза більше, ніж у пшениці (Івченко, Мозговська, & Крутько, 2020).

Під час збору врожаю кількість розчинних і нерозчинних вуглеводів у бульбах різних сортів батату майже однакові. Але після нетривалого зберігання або декількох діб підв'ялення за температури 30—31 °С склад і характер м'якоті різко змінюються і відмінність між сортами стає дуже помітною. У столових сортів батату характер м'якоті майже не змінюється, в основному структура залишається розсипчастою і сухуватою, у них нейтральний смак і менша солодкість. Десертні сорти батату мають більш виражені смакові характеристики, м'якоть стає дуже соковитою і набуває солодкого смаку (Nguyen, Chen, & Huang, 2021). Хімічні аналізи показали, що в таких сортів під час зберігання відбувається перетворення нерозчинних вуглеводів крохмалю в розчинні — декстрини, а частина крохмалю розщеплюється до цукрів, при цьому вміст цукрів збільшується в 2—2,5 раза. Крім цих двох груп, є ще сорти, які займають за своїм складом проміжне положення. В них у декстрини і цукри переходить тільки частина крохмалю (Пінчук, 2010).

Метою дослідження науковців (Salelign, & Duraisamy, 2021) було встановлення потенціалу виробництва цукру й етанолу з різних сортів батату з червоною м'якоттю (RFSP) і з білою м'якоттю (WFSP). Приблизний аналіз сировини показав наявність значної кількості сухих речовин 25 г/100 г з меншим вмістом жиру (0,025) і золи (0,533), що робить їх перспективними культурами для виробництва цукру й етанолу. Біоетанол отримували шляхом ферментативного гідролізу батату, розведеного у воді (1:1 мас. %) ферментами альфа-амілазою (90 °С) і глюкоамілазою (60 °С) (700 мл/т), оцукрене сушло зброджували за 30 °С дріжджами *Saccharomyces cerevisiae* (3,3 кг/т). Середній вихід біоетанолу становив 161,4 л/т, що відповідає 10598 л/га (Silva, Almeida, & Dias, 2018).

Мета статті: дослідження технологічних аспектів процесу збродження суцільного батату в етанол та оцінка перспектив використання спиртового дистилляту з батату для виготовлення крафтових напоїв.

Матеріали і методи. Для досліджень використовували бульби батату сорту «Бетті» (рис. 1).



Рис. 1. Бульби батату сорту «Бетті»

Це десертний сорт з високим вмістом каротину. Шкірка рожево-помаранчева, серцевина помаранчева, іноді зі світлими вкрапленнями. Цей сорт відрізняється пальчато-розсіченою формою листя і може використовуватися як декоративна рослина.

При тривалому яскравому сонячному опромінюванні листя і стебла набувають червоного відтінку. Середня маса бульби на важких ґрунтах 0,5 кг, на легких — до 1 кг (Shimizu, 2011).

Фізико-хімічний склад батату аналізували за методиками, прийнятими у практиці бродильного виробництва (Мелетьєв, Тодосійчук, & Кошова, 2007). Вміст крохмалю визначали методом Еверса (Mitchell, 1990), величину рН — потенціометричним методом. Масову частку суми зброджуваних цукрів визначали за методикою, розробленою у (Albalasmeh, Berhe, & Ghezzehei, 2013). У лабораторних умовах досліджували процес спиртового зброджування сусла з батату за методом «бродильної проби». У дослідях для зброджування сусла з батату використовували сухі дріжджі *Saccharomyces Cerevisiae* раси Oenoferm та «Первак». Oenoferm використовують у виноробстві для зброджування збідненого середовища, дріжджі «Первак» виробництва ТОВ «Компанія Ензим» традиційно використовують у спиртовому виробництві для зброджування цукро- та крохмалевмісної сировини. Бульбу батату натирали на терці з розміром частинок 1—2 мм. Брالی наважку батату в кількості 125 г і готували сусло шляхом розведення наважки батату стерильною водопровідною водою (1:1). Далі проводили розрідження крохмалю амілолітичним ферментним препаратом α -амілаза (активність 5127,42 од./см³), який додавали в кількості 2 од. на 1 г крохмалю. Тривалість розрідження 3 год за температури 95 °С. Одержання етанолу проводили за методом SSF (simultaneous saccharification and fermentation) шляхом одночасного оцукрення і бродіння. Фермент глюкоамілазу (активність 5352,96 од./см³) в кількості 8 од. на 1 г крохмалю додавали в бродильну колбу, куди вносили сухі дріжджі в кількості 1 г, закривали колби сірчаноокислими затворами та ставили на бродіння у термостат за температури 30 °С впродовж 48 годин. Процес зброджування вважали закінченим, коли кількість діоксиду вуглецю, що виділився за останні 2 год, не перевищувала 0,1 г. Фізико-хімічні показники зрілої бражки з батату досліджували за допомогою стандартних і загальноприйнятих методів (Мелетьєв, Тодосійчук, & Кошова, 2007). Так, концентрацію спирту в бражці визначали ареометричним методом, масову концентрацію незброджених вуглеводів — антроновим методом на фотоелектроколориметрі. Кількість виділеного діоксиду вуглецю визначали гравіметричним методом (Мелетьєв, Тодосійчук, & Кошова, 2007). Інтенсивність зброджування визначали за кількістю діоксиду вуглецю, що утворилася під час ферментації.

Дистилят з батату отримували на лабораторній установці (рис. 2). Одержання дистиляту проводили за такими параметрами: відбір головної фракції — за температури 65—78 °С, відбір дистиляту — за температури 78—83 °С.

Органолептичні показники спиртових дистилятів визначали за методиками, прийнятими в спиртовому виробництві (Янчевський, Олійнічук, & Булах, 2004).

Викладення основних результатів досліджень. Визначений склад батату сорту «Бетті» наведено в табл. 3.



Рис. 2. Лабораторна установка з одержання спиртового дистилляту

Таблиця 3. Склад батату

Показник	Вміст
Вміст сухих речовин, %	20,4
pH	6,64
Вміст крохмалю, %	13,2
Вміст цукрози (пряма поляризація), %	3,5
Інверсійна поляризація, %	1
Вміст редукувальних речовин, %	4,02
Сума зброджуваних цукрів, %	6,55

Досліджений сорт батату мав вміст крохмалю 13,2%, а сума зброджуваних цукрів в ньому склала 6,55%. Можна зробити висновок, що батат вирощували в північних широтах, про що свідчить невисокий вміст крохмалю. При цьому він досить довго зберігався, саме тому відбувся частковий гідроліз крохмалю, за рахунок чого і збільшився вміст цукрів. Як показують дані табл. 3, за показниками вмісту крохмалю, pH та масовою часткою суми зброджуваних цукрів батат є сировиною, придатною для виробництва етилового спирту.

Сусле з батату концентрацією 8,2% СР зброджували впродовж 48 год за температури 30 °С. Контроль процесу збродження проводили за кількістю CO₂, що виділявся під час бродіння. Дані, що характеризують процес бродіння сусле з батату різними штамами дріжджів, наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Фізико-хімічні показники збродження сусле з батату

Показник	Дріжджі	
	Oenoferm	Первак
pH основного сусле після введення дріжджів	6,64	6,65
Титрована кислотність сусле, ° кислот.	0,94	0,95
pH після бродіння	4,7	4,95
Титрована кислотність бражки, ° кислот.	0,65	0,7

Вміст CO ₂ , г/250 см ³ :		
- на 16 годину бродіння	6,3	6,85
- на 24 годину бродіння	6,88	7,24
- на 48 годину бродіння	7,12	7,96
Вміст спирту, % об.	3,6	4,3
Вміст загальних вуглеводів, г/100 см ³	0,153	0,121
Вміст водорозчинних вуглеводів, г/100 см ³	0,076	0,052
Вміст спирторозчинних вуглеводів, г/100 см ³	0,064	0,051
Вміст декстринів, г/100 см ³	—	—
Вміст нерозчиненого крохмалю, г/100см ³	0,069	0,062
Істинні СР, %	3,5	3,5

Як видно з даних табл. 4, дріжджі раси Oenoferm, які використовуються у виробстві для зброджування збідненого середовища, накопичують всього 3,6% спирту, що відповідає виходу спирту з 1 т умовного крохмалю батату 31,1 дал/т. Оскільки дріжджі Oenoferm мають занижені результати по накопичуванню етилового спирту в зрілій бражці, то в наступній серії дослідів були застосовані спиртові сухі дріжджі штаму «Первак» з покращеними біотехнологічними характеристиками. Вихід спирту з дріжджів «Первак» склав 44,3 дал з 1 т умовного крохмалю батату. Вміст незбродженого цукру в бражці був 0,121—0,153 г/100 см³, що свідчить про задовільний процес бродіння. Розрідження й оцукрення середовища було здійснено на достатньому рівні, що підтверджується відсутністю декстринів у бражці.

Органолептичні показники спиртового дистилату з батату наведено в табл. 5.

Таблиця 5. Органолептичні характеристики спиртових дистилатів, одержаних з різної сировини

Назва	Зовнішній вигляд	Колір/бали	Смак/бали	Запах/бали	Кількість балів
Дистилат з батату	Прозора рідина без сторонніх часток	Безбарвна рідина/2	Чистий, без стороннього присмаку/4	Приємний фруктовий аромат/4	10
Дистилат з картоплі	Прозора рідина без сторонніх часток	Безбарвна рідина/2	Характерний для цього виду, але дещо різкий/3,8	Різкий, з вираженим запахом/3,2	9

За органолептичними показниками спиртовий дистилат з батату одержав найвищий бал — 10, в той час як дистилат з картоплі — 9 балів. Дистилат з батату, на відміну від картопляного, відрізнявся приємним фруктовим ароматом, без різкого присмаку. На основі спиртового дистилату з батату було розроблено два види лікеру (табл. 6). У результаті проведених попередніх досліджень з отримання різноманітних мононастоюнок на основі спецій і плодово-ягідної сировини було відібрано ті, що поєднуються між собою. Всі лікери були виготовлені з додаванням цукру коричневого.

Таблиця 6. Рослинні складові компоненти лікерів

Лікери	Лікер 1 (з додаванням спецій)	Лікер 2 (з додаванням рослинної і плодово-ягідної сировини)
Рослинні складові	Цедра апельсинова Гвоздика Ваніль Чорний перець	Вишня Кора дуба Горішки чуфи

Лікер 1 (з додаванням спецій): апельсинова цедра містить вітамін С та інші антиоксиданти, калій і магній, змінює кишкову флору та допомагає в профілактиці атеросклерозу (Вітряк, 2014). Гвоздика містить антиоксиданти, в т. ч. евгенол, що сповільнює окислювальний стрес, має антимікробні і знеболювальні властивості (Navia et al., 2020; Chantapalli, 2023). Чорний перець багатий потужним антиоксидантом під назвою піперин, який може допомогти запобігти пошкодженню клітин вільними радикалами, має протизапальні і знеболювальні властивості, оздоровлює роботу мозку, знижує рівень холестерину тощо (Meixner, 2016).

Лікер 2 (з додавання рослинної і плодово-ягідної сировини): плоди вишні стабілізують роботу серцево-судинної системи, зміцнюють капіляри, покращують стан нервової системи, заспокоюють, піднімають настрій; мають заспокійливу дію і зміцнюють сон; знімають больовий синдром і втому; виявляють протизапальну і бактерицидну дію; очищають печінку, виводять з організму токсини і шлаки. Кора дуба чинить протизапальну, загальнозміцнюючу дію, здатна підвищити імунітет.

Чуфа (земляний мигдаль) володіє високою харчовою цінністю за рахунок вмісту ненасичених жирних кислот і жирів. Ці речовини служать для організму джерелом енергії, запобігають розвитку атеросклерозу, знижують рівень холестерину. Щоб задовольнити добову потребу організму в поліненасичених жирних кислотах рослинного походження, достатньо всього 150 г бульбочок чуфи. У складі рослини містяться також вуглеводи у вигляді крохмалю і цукрів, вітаміни, мікроелементи. До складу чуфи входить також йод, селен, мідь. Завдяки унікальному збалансованому співвідношенню, мінерали не проявляють антагоністичні властивості один до одного, а лише доповнюють корисний вплив (Sánchez-Zapata, Fernández-López, & Pérez-Alvarez, 2021).

Розроблені експериментальні зразки було оцінено дегустаційною комісією. Дані дегустації наведено в табл. 7.

Таблиця 7. Результати дегустаційної оцінки дослідних зразків крафтових лікерів

Зразок	Зовнішній вигляд	Смак	Колір	Запах	Загальна оцінка
Лікер 1 (апельсин+спеції)	4,6	4,7	4,9	4,8	4,79
Лікер 2 (рослинна і плодово-ягідна сировина)	4,5	4,2	4,3	4,5	4,38

Результати проведених досліджень показали, що всі лікери мають досить високі органолептичні характеристики. Варто зазначити, що найвищий показник за

зовнішній вигляд, колір і смак отримав лікер 1 з додаванням спецій. Що стосується лікеру 2 з рослинною та плодово-ягідною сировиною, то бальна оцінка його була дещо нижчою. Можливо це можна пояснити тим фактом, що до складу цього лікеру входить кора дуба, яка має значну кількість дубильних речовин і характерний гіркий присмак, що не викликає позитивних смакових емоцій.

Висновки

Досліджений сорт батату мав вміст крохмалю 13%, а сума зброджуваних цукрів в ньому 6,55%. За показниками вмісту крохмалю, рН та масовою часткою суми зброджуваних цукрів батат є сировиною, придатною для виробництва етанолу.

Вихід спирту складав 44,3 дал з 1 т умовного крохмалю батату. Вміст незброджених вуглеводів у зрілій бражці — 0,121 г/100 см³, що свідчить про задовільний процес бродіння.

Спиртовий дистилят з батату відрізнявся приємним фруктовим ароматом, без різкого присмаку, із загальною оцінкою по органолептичним показникам 10 балів на відміну від картопляного дистиляту із загальною оцінкою 9 балів.

Розроблені на основі спиртового дистиляту з батату крафтові лікери мали високі органолептичні характеристики. Найвищий показник за зовнішній вигляд, колір і смак отримав лікер з додаванням спецій гвоздики, ванілі, чорного перцю і цедри апельсинової.

Література

Вітряк, О. П. (2014). Технологічні аспекти використання пряно-ароматичної сировини у технології напоїв. *Проблеми екологічної біотехнології*, 2, 14—21.

Івченко, Т. В., Мозговська, Г. В., Баштан, Н. О., Мірошніченко, Т. М., Крутько Р. В. (2020). Характеристика генотипів-інтродуцентів батату (*Ipomoea batatas L.*) за умов вирощування в зоні лісостепу України. *Овочівництво і багаторічництво: міжвідомчий тематичний науковий збірник*, 67, 6—12.

Мелетьєв, А. Є., Годосійчук, С. Р., Кошова, В. М. (2007). *Технохімічний контроль виробництва солоду, пива і безалкогольних напоїв*. Вінниця: Нова книга.

Петрова, Ж. О., Слободянюк, К. С. (2018). Інтенсифікація процесу сушіння рослинної суміші з сої та батату. *Scientific Works*, 82(1). <https://doi.org/10.15673/swonaft.v82i1.999>.

Пінчук, М. О. (2010). Батат — екзотичний овоч. *Паросток*, 1(65), 21—24.

Слинько, М. (2020). Лікери з батату. Взято з: https://liquors.slynko.com/page_id=186.

Юкало, В. Г., Мельнічук, О. Є., Сельський, В. Р. (2014) Дослідження хімічного складу сортів батату, які вирощують в Україні. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*, 1(70), 68—72.

Янчевський, В., Олійнічук С., Міхненко Є., Нагурна, Н., Кизюн Г., Дремлюга, К., Писарев Є., Гогоман, І., Булах, Н. (2004). ДСТУ 4181:2003. Спирт етиловий ректифікований і спирт етиловий-сирець. Правила приймання і методи випробування. Київ, Держспоживстандарт, 1—26.

Albalasmeh, A. A., Berhe, A. A., Ghezzehei, T. A. (2013). A new method for rapid determination of carbohydrate and total carbon concentrations using UV spectrophotometry. *Carbohydrate Polymers*, 97(2), 253—261. <https://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.04.072>.

Bleske, N. (2016—2017) *Ipomoea batatas*. Agricultural Science Monograph. Cali: Colegio Boli-var.

Bovell-Benjamin, A. C. (2007) Sweet potato: a review of its past, present, and future role in human nutrition. *Adv. Food Nutr. Res.*, 52(1). DOI: 10.1016/S1043-4526(06)52001-7.

Chantapalli, S. (2023). What are the benefits of orange peel? MedicineNet. Взято з: https://www.medicinenet.com/what_are_the_benefits_of_orange_peel/article.htm 15.11.2023.

- Loebenstein, G., Thottappilly, G. (2009) *The Sweetpotato*. Dordrecht: Springer., 391—425. ISBN 978-1-4020-9475-0.
- Meixner, M. (2016). Science-Backed Health Benefits of Black Pepper. Healthline. Взято з: <https://www.healthline.com/nutrition/black-pepper-benefits>. 16.11.2016.
- Mitchell, G. A. (1990). Methods of Starch Analysis. *Starch—Stärke*, 42(4), 131—134. <https://dx.doi.org/10.1002/star.19900420403>.
- Muñoz-Rodríguez, P., Carruthers, T., Wood John, R. I., Kelly, S., Liston, A., Scotland, R. W. (2018). Reconciling Conflicting Phylogenies in the Origin of Sweet Potato and Dispersal to Polynesia. *Current Biology*, 28(8), P. 1246—1256. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.03.020>.
- Navia, Z. I., Audira, D., Afifah, N., Turnip, K., Nuarini Suwardi, A. B. (2020). Ethnobotanical investigation of spice and condiment plants used by the Taming tribe in Aceh, Indonesia. *Biodiversitas*, 21. P. 4467—4473.
- Nguyen, H. C., Chen, C. C., Lin, K. H., Chao, P. Y., Lin, H. H., Huang, M. Y. (2021). Bioactive compounds, antioxidants, and health benefits of sweet potato leaves. *Molecules*, 26, 820.
- Roullier, C., Kambou, R., Paofa, J. et al. (2013). On the Origin of Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) Genetic Diversity in New Guinea, a Secondary Centre of Diversity. *Heredity*. № 110. P. 594—604.
- Salelign, K., Duraisamy, R. (2021). Sugar and ethanol production potential of sweet potato (*Ipomoea batatas*) as an alternative energy feedstock: processing and physicochemical characterizations. *Heliyon*, 7(11). DOI 10.1016/j.heliyon.2021. e08402.
- Silva, J., Almeida, M. F., Alvim-Ferraz, M. D., Dias, J. M. (2018). Integrated production of biodiesel and bioethanol from sweet potato. *Renewable energy*, 124, 114—120. DOI 10.1016/j.renene.2017.07.052.
- Shimizu, K. (2011). 16 Shades of Sweet: A Sweet potato varieties. Взято з: <https://www.saveur.com/search/sweet%20potato%20varieties>.
- Sánchez-Zapata, E., Fernández-López, J., Pérez-Alvarez, J. A. (2012). Tiger Nut (*Cyperus esculentus*) Commercialization: Health Aspects, Composition, Properties, and Food Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 11 (4): 366—377. DOI:10.1111/j.1541-4337.2012.00190.
- Xi, X., Waana, K. (2022). Sweet Potato (*Ipomoea batatas*) Biology and Importance in U. S. Agriculture. *Agri Res & Tech.*, 26(5) DOI: 10.19080/ARTOAJ.2022.26.556346.

EVALUATION OF THE CYTOTOXICITY OF ZnO NANOPARTICLES USING AN ALTERNATIVE METHOD ON HUMAN PLASMA PROTEINS *IN VITRO*

O. Kochubei-Lytvynenko, A. Dubivko, O. Vysotskyi

National University of Food Technologies

Key words:

Zinc
Nanoparticles
Cytotoxicity
Albumin
Immunoglobulin

Article history:

Received 08.05.2024
Received in revised form
24.05.2024
Accepted 07.06.2024

Corresponding author:

O. Vysotskyi

E-mail:

oleksandr.vysotskyi.science@gmail.com

Citation: Кочубей-Литвиненко О. В., Дубівко А. С., Висоцький О. О. (2024). Оцінювання цитотоксичності наночастинок ZnO альтернативним методом на білках плазми крові людини в умовах *in vitro*. *Наукові праці НУХТ*, 30(3), 1167—1174.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-15

ABSTRACT

This article is dedicated to evaluating the cytotoxicity of zinc oxide nanoparticles (ZnO) by studying their impact on human plasma proteins *in vitro*. The purpose of the study was to compare the toxicity of ZnO nanoparticles with zinc ions in the form of ZnSO₄ and to determine their effect on protein structural changes. The selection of human plasma proteins as an alternative to classical toxicological studies on animals is driven by ethical principles and the aim to reduce the number of animals used in experiments.

The primary source of zinc intake for the human body is food (both traditional and mineral-enriched), as well as mineral and vitamin-mineral complexes. With the development of nanotechnology, special attention is paid to zinc and its compounds in the nanoscale state. In particular, ZnO nanoparticles are widely used in medicine and pharmacology, the food industry, agriculture, cosmetics, and personal care products.

To assess the impact of zinc nanoparticles on plasma proteins, a method of protein denaturation study after incubation with ZnO and ZnSO₄ nanoparticles *in vitro* was chosen. The concentrations of nanoparticles and zinc ions ranged from 0.450 mg/cm³ to 0.004 mg/cm³.

It was found that ZnO nanoparticles are more toxic to immunoglobulin compared to zinc ions. The impact of zinc ions was equally expressed for both types of proteins. The most toxic doses were 0.450 mg/cm³ and 0.225 mg/cm³, while low doses (0.014 mg/cm³, 0.007 mg/cm³, and 0.004 mg/cm³) had no significant effect on protein structure.

The cytotoxicity of zinc nanoparticles and ZnSO₄ salt depends on the concentration of the studied compounds. Low concentrations of ZnO nanoparticles (0.014 mg/cm³, 0.007 mg/cm³, 0.004 mg/cm³) are safe for use in food technologies. The research confirms the possibility of effective and safe application of ZnO nanoparticles as auxiliary food additives, particularly for grain germination and milk whey purification.

ОЦІНЮВАННЯ ЦИТОТОКСИЧНОСТІ НАНОЧАСТИНОК ZnO АЛЬТЕРНАТИВНИМ МЕТОДОМ НА БІЛКАХ ПЛАЗМИ КРОВІ ЛЮДИНИ В УМОВАХ *IN VITRO*

О. В. Кочубей-Литвиненко, А. С. Дубівко, О. О. Висоцький

Національний університет харчових технологій

Стаття присвячена оцінюванню цитотоксичності наночастинок цинку оксиду (ZnO) методом дослідження їх впливу на білки плазми крові людини в умовах *in vitro*. Метою дослідження є порівняння токсичності наночастинок ZnO з іонами цинку у вигляді солі ZnSO₄ та встановлення їх впливу на структурні зміни білків. Вибір білків плазми крові як альтернативи класичним токсикологічним дослідженням на тваринах зумовлений етичними принципами та прагненням до скорочення чисельності тварин в експериментах.

Основним джерелом надходження цинку до організму людини є харчові продукти (традиційні та додатково збагачені мінеральними елементами), мінеральні та вітамінно-мінеральні комплекси. З розвитком нанотехнологій особлива увага приділяється цинку та його сполукам у нанорозмірному стані. Зокрема, наночастинки ZnO широко використовуються у медицині та фармакології, харчовій промисловості, сільському господарстві, виробництві косметики та засобів особистої гігієни.

Для оцінювання впливу наночастинок цинку на білки плазми крові обрано метод дослідження денатурації білків після інкубації з НЧ ZnO та ZnSO₄ в умовах *in vitro*. Концентрації наночастинок та іонів цинку варіювалися в діапазоні від 0,450 мг/см³ до 0,004 мг/см³.

Виявлено, що наночастинки ZnO більш токсичні для імуноглобуліну порівняно з іонами цинку. Вплив іонів цинку однаково виражений для обох видів білків. Найбільш токсичними виявилися дози 0,450 мг/см³ та 0,225 мг/см³, тоді як низькі дози (0,014 мг/см³, 0,007 мг/см³ та 0,004 мг/см³) не мали суттєвого впливу на структуру білків.

Цитотоксичність наночастинок цинку та солі ZnSO₄ залежить від концентрації досліджуваних сполук. Низькі концентрації наночастинок ZnO (0,014 мг/см³, 0,007 мг/см³, 0,004 мг/см³) є безпечними для використання у харчових технологіях. Дослідження підтверджують можливість ефективного та безпечного застосування наночастинок ZnO як допоміжних харчових добавок, зокрема для пророщування зерна й очищення молочної сироватки.

Ключові слова: цинк, наночастинки, цитотоксичність, альбумін, імуноглобулін.

Постановка проблеми. Вибір білків плазми крові як альтернативи класичним токсикологічним дослідженням на тваринах зумовлений етичними принципами, збільшенням зацікавленості науковців і широкої громадськості в гуманному ставленні до тварин, а також прагненні до скорочення їх чисельності в експериментах.

Наразі в Україні та світі дослідження з оцінки цитотоксичності ксенобіотиків проводяться альтернативними методами, зокрема на первинних культурах клітин

і тканин, виділених з організму тварин і/або людини, а також перещеплювальних клітин, отриманих з окремих видів пухлин. З цією метою створено достатньо великий банк клітинних ліній, які мають різне видове походження та виділені з різних органів. Тестування на культурах клітин надає інформацію про потенційну цитотоксичну дію речовини. При цьому визначають загальну цитотоксичність як несприятливу дію певної речовини на структуру і властивості клітин, що оцінюється за здатністю клітин до виживання, проліферації і функціональної активності. Тобто на клітинному рівні визначають три основні механізми цитотоксичної дії — пошкодження клітинних мембран, порушення процесів метаболізму, порушення регуляції поділу клітин (ICCVAM, 2001; Дмитруха, 2013).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цинк належить до найбільш важливих і незамінних для життєдіяльності організму людини мікроелементів. За поширенням в організмі людини він посідає друге місце після заліза. Цинк є незамінним для генної експресії і метаболізму нуклеїнових кислот та, відповідно, й усіх процесів росту і диференціації клітин, він є структурним компонентом біологічних мембран, клітинних рецепторів, протеїнів, входить до складу понад 200 ензимних систем, які регулюють основні процеси обміну речовин. Враховуючи той факт, що цинк має суттєвий вплив на ріст і диференціацію клітин, його роль в різні періоди людського життя — від раннього дитинства до періоду статевого розвитку, не можна недооцінювати. До того ж останні дослідження дії цинку підтвердили, що саме він чинить найбільш специфічний і найвагоміший вплив на стан імунної системи людини. А в теперішніх умовах розквіту вірусних захворювань, зокрема коронавірусу, його значення ще більше посилюється.

Мінімальна добова норма мікроелемента для забезпечення адекватного перебігу усіх процесів життєдіяльності та зміцнення організму становить: для чоловіків віком старше 19 років — не менше 11 мг, в період активного статевого життя — від 30 до 70 мг; для жінок старше 19 років — 10...20 мг, під час вагітності та вигодовування немовляти потреби у цинку збільшуються. Основним джерелом його надходження до організму людини є харчові продукти (традиційні та додатково збагачені мінеральними елементами), мінеральні та вітамінно-мінеральні комплекси.

На сьогодні, у зв'язку з розвитком нанотехнологій, особлива увага приділяється цинку та його сполукам у нанорозмірному стані. Зокрема, наночастинки ZnO (НЧ ZnO) широко використовуються в медицині та фармакології, харчовій промисловості, сільському господарстві, виробництві косметики та засобів особистої гігієни (Чекман та ін., 2013; Jiang, 2018).

У дослідженні (Дубівко та ін., 2022) показано позитивний ефект від використання колоїдного розчину цинку, отриманого електроіскровим диспергуванням струмопровідних гранул цинку у водному середовищі, під час пророщування зерн за для подальшого його використання у виробництві харчових продуктів.

Для збагачення сироватки молочної і, як наслідок, покращення її технологічно-функціональних властивостей, інтенсифікації ферментативних процесів використовують металовмісні частинки магнію, мангану та цинку в нано- та ультрарозмірних діапазонах, отримані за тією ж технологією, що й у попередньо зазначеній праці (Кочубей-Литвиненко, & Лопатько, 2021; Кочубей-Литвиненко та ін., 2023).

Численні наукові дослідження свідчать, що наночастинки володіють особливими фізико-хімічними характеристиками, які відрізняють їх від речовин у звичайному стані. НЧ здатні проходити крізь біологічні бар'єри в межах організму, проникати у внутрішнє середовище клітини або впливати на мембранні рецептори, ініціюючи імунну реакцію. Підвищена реакційна здатність та біологічна активність НЧ обумовлюють актуальність вивчення їх властивостей і поведінки при їх надходженні до організму людини (Трахтенберг, & Дмитруха, 2013).

Найвні на сьогодні дані щодо токсичності наночастинок ZnO (НЧ ZnO) є неоднозначними. Так, досліджуючи гострий токсичний вплив НЧ ZnO на здорових дорослих мишах було встановлено, що органами-мішенями для накопичення НЧ ZnO розміром 20—120 нм є печінка, серце, селезінка, підшлункова залоза та кістки (Wang та ін., 2008). Біохімічні та патофізіологічні дослідження показали, що немає суттєвої різниці у виявленні токсичного ефекту частинок цинку оксиду розміром 20 та 120 нм. Наприклад, підвищення в'язкості крові може бути спричинене прийомом частинок цинку розміром 20 нм. набряк і дегенерацію гепатоцитів, запалення підшлункової залози найчастіше відмічали при лікуванні мишей НЧ ZnO розміром 20 нм. Виявлено дозозалежний ефект патологічних ушкоджень шлунку, печінки, серця та селезінки при застосуванні НЧ ZnO розміром 120 нм, однак під час прийому підвищених дозувань частинок розміром 20 нм зафіксовано зменшення пошкоджувальної дії на печінку, селезінку та підшлункову залозу (Wang та ін., 2008).

В інших дослідженнях повідомляється про високу токсичність НЧ ZnO, встановлену в експериментах на щурах, що проявлялась стимуляцією оксидативного стресу в клітинах печінки (Liu та ін., 2016), генотоксичних ефектах і розвитком запалення в легенях (Howaida та ін., 2013) за умови перорального надходження в організм.

Отримані результати експериментальних досліджень вказують на необхідність ретельної перевірки цитотоксичності цинковмісних препаратів, які планується використовувати, зокрема як допоміжні добавки в харчових технологіях. Тому питання дослідження безпечності НЧ ZnO залишається відкритим та вельми актуальним.

Мета дослідження: оцінювання токсичності НЧ ZnO в експерименті *in vitro* на білках плазми крові людини (альбумін та імуноглобулін G людини) в порівняльному аспекті з сіллю ZnSO₄.

Матеріали і методи. Металовмісні частинки цинку одержували на електро-розрядному технологічному комплексі шляхом диспергування струмопровідних гранул цинку в середовищі деіонізованої води (Лопатько та ін., 2016). Колоїдний розчин цинку одержували за таких параметрів: напруга зарядки конденсатора — 80...100 В, ємність конденсатора — 100 мкФ, час оброблення — 120 с, середовище — деіонізована вода з електропровідністю 0,001...0,003 мС/см.

Концентрацію цинку в колоїдному розчині визначали методом оптико-емісійної спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою. Статистичний розподіл розмірів частинок цинку й електрокінетичний потенціал (ζ -потенціал) колоїдного розчину досліджували методом динамічного світлорозсіювання на аналізаторі Malvern Zetasizer Nano ZC (Malvern Instruments Ltd, UK).

Для оцінювання впливу наночастинок цинку на білки плазми крові обрано метод дослідження їх денатурації. При цьому визначали конформаційні зміни структури білків після інкубації альбуміну та імуноглобуліну людини (Біофарма, м. Київ) з НЧ ZnO та іонами Zn (ZnSO_4) в умовах *in vitro*.

Для експерименту розчини білків готували на 0,9% розчині NaCl з кінцевою концентрацією білка 1 мг/см³. Розчин білка обережно змішували з розчином НЧ металів у співвідношенні 1:1, інкубували 2 год при 37 °С. Для кожного білка виконували серію досліджень: 1 пробірка: 1 см³ білка + 1 см³ 0,9% NaCl (негативний контроль); 2 пробірка: 1 см³ білка + 1 см³ 0,1 М HCl на 0,9% NaCl (позитивний контроль); 3...7 пробірки: 1 см³ білка + 1 см³ розчину наночастинок ZnO і ZnSO_4 з концентрацією (0,45; 0,25; 0,13; 0,056; 0,028 мг/см³ за металом). Оптичну густина дослідних проб вимірювали стосовно негативного контролю на спектрофотометрії РV 1251 С при довжині хвилі 450 нм. За результатами тестування визначали ступінь денатурації білків крові (x), %, за формулою:

$$x = (\text{ОГ}_{\text{д.п.}} / \text{ОГ}_{\text{п.к.}}) \times 100,$$

де $\text{ОГ}_{\text{д.п.}}$ — оптична густина дослідної проби; $\text{ОГ}_{\text{п.к.}}$ — оптична густина позитивного контролю.

Дослідження цитотоксичності частинок цинку проводилися в лабораторії промислової токсикології і гігієни праці при використанні хімічних речовин Інституту медицини праці імені Ю. І. Кундієва під керівництвом завідувача лабораторією, доктора біологічних наук, ст. наук. співробітника Дмитрухи Н. М.

Результати і обговорення. Оскільки цитотоксичність і біологічна доступність мінеральних елементів, зокрема цинку, в тій чи іншій мірі залежить від розміру частинок, а домінування нанорозмірної фракції сприяє посиленню їх біологічної ефективності, передусім у досліджуваному колоїдному розчині визначали дисперсні характеристики частинок цинку.

Методом оптико-емісійної спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою встановлено, що концентрація цинку в отриманому колоїдному розчині становила 0,045 мг/см³. Для подальших досліджень цитотоксичності частинок ZnO та впливу їх концентрації на цей показник, вихідний колоїдний розчин розводили 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, 1:100.

Дисперсійний аналіз металовмісних частинок дав змогу встановити, що отриманий колоїдний розчин цинку містив частинки в розмірному діапазоні 40...300 нм з середнім розміром $101,3 \pm 5,0$ нм. Близько 50% металовмісних частинок перебувало в нанорозмірному діапазоні.

Відомо, що наночастинок, потрапивши в кров, лімфу, шлунковий сік або будь-яку іншу біологічну рідину, взаємодіють з білками (Трахтенберг, & Дмитруха, 2013; Kharazian, Nadipour, & Ejtehadi, 2016). Володіючи високою поверхневою енергією, НЧ можуть руйнувати ковалентні зв'язки високомолекулярних білків, а також адсорбувати їх на своїй поверхні, утворюючи так звану «корону». Останнє визначається електростатичною взаємодією заряджених груп білкових молекул, а також їх високою спорідненістю до поверхні наночастинок. Як наслідок взаємного впливу, змінюються властивості НЧ і самих білків. Основними білками, що утворюють «корону» наночастинок є альбумін, імуноглобуліни, фактори комплекменту, фібриноген і аполіпопротеїни. Покривання наночастинок цими білками

багато в чому визначає їх подальшу долю — розподіл між тканинами й органами, швидкість виведення з організму, опсонізацію (фагоцитоз за участю рецепторів мембрани). Білки та інші органічні речовини збільшують розчинність наночастинок (наприклад, ZnO, CdSe, оксидів заліза і алюмінію), але й наночастинки можуть впливати на білкові молекули, викликаючи їх агрегацію, окислюючи бічні групи, знижуючи ферментативну активність або змінюючи їх конформацію (Kharazian, Nadipour, & Ejtahadi, 2016).

Результати вимірювання оптичної густини альбуміну та імуноглобуліну G після інкубації з НЧ ZnO і ZnSO₄ представлені в табл. 1 і 2.

Таблиця 1. Результати визначення денатурації білків плазми крові людини після інкубації з НЧ ZnO

Концентрація за Zn, мг/см ³	Одиниці оптичної густини	Денатурація імуноглобуліну за присутності НЧ ZnO, %	Одиниці оптичної густини
0,450	0,928±0,005	63,75±0,29	0,574±0,002
0,225	0,483±0,008	33,17±0,45	0,315±0,001
0,113	0,180±0,001	12,34±0,03	0,311±0,001
0,056	0,123±0,002	7,90±0,08	0,164±0,001
0,028	0,115±0,001	7,76±0,17	0,129±0,002
0,014	0,100±0,001	6,87±0,05	0,150±0,004
0,007	0,079±0,001	5,43±0,06	0,079±0,001
0,004	0,069±0,001	4,72±0,04	0,062±0,002
0,9 % NaCl (негативний контроль)	0,052±0,001	—	0,064±0,002
0,1n HCl (позитивний контроль)	1,455±0,03	100	2,077±0,018

Таблиця 2. Результати визначення денатурації білків плазми крові людини після інкубації з розчином солі ZnSO₄

Концентрація за Zn, мг/см ³	Одиниці оптичної густини	Денатурація імуноглобуліну за присутності ZnSO ₄ , %	Одиниці оптичної густини	Денатурація альбуміну за присутності ZnSO ₄ , %
0,450	0,773±0,010	53,10±0,66	1,142±0,001	54,92±0,49
0,225	0,311±0,002	21,35±0,13	0,816±0,007	39,30±0,57
0,113	0,215±0,005	14,78±0,33	0,786±0,007	37,85±0,43
0,056	0,134±0,002	9,19±0,10	0,355±0,003	17,11±0,15

0,028	0,092±0,001	6,06±0,29	0,149±0,005	7,19±0,31
0,014	0,067±0,002	4,60±0,01	0,055±0,001	2,64±0,04
0,007	0,054±0,001	3,69±0,04	0,039±0,001	1,89±0,04
0,004	0,056±0,001	3,80±0,02	0,038±0,001	1,81±0,02
0,9% NaCl (негативний контроль)	0,052±0,001	—	0,064±0,002	—
0,1н HCl (позитивний контроль)	1,455±0,03	100	2,077±0,018	100

Отримані результати дослідження оптичної густини дослідних зразків порівняно з контролем свідчать, що ступінь денатурації білків залежав від концентрації досліджуваних сполук. Найбільш токсичними НЧ ZnO і ZnSO₄ щодо імуноглобуліну й альбуміну були у дозах 0,45 мг/см³ і 0,225 мг/см³, тоді як дози 0,014; 0,007 і 0,004 (мг/см³) обох препаратів цинку не мали суттєвого впливу на структуру білків.

Наночастинки ZnO виявились більш активними щодо імуноглобуліну, тоді як вплив іонів Zn на структуру обох протеїнів був однаковим.

За даними наукових джерел (Дмитруха, 2021) властивість цинку брати участь у процесах лігандоутворення з органічними молекулами пояснює надзвичайно широкий спектр його наявності в різних біологічних системах. Це супроводжується і відносною безпекою цього елемента, покращує транспорт і метаболізм в організмі та швидке біологічне засвоєння його клітинами.

Висновки

Встановлено, що цитотоксичність наночастинок цинку і солі ZnSO₄ залежала від концентрації досліджуваних сполук. Найбільша токсичність щодо імуноглобуліну й альбуміну плазми крові проявлялася за присутності ZnO і ZnSO₄ у дозах 0,225...0,45 мг/см³. Доведено, що дозування 0,014; 0,007 і 0,004 мг/см³ обох препаратів цинку не мали суттєвого впливу на структуру білків плазми крові.

Підсумовуючи отримані дані, можна дійти висновку, що дослідження особливостей і механізмів потенційної токсичності наночастинок ZnO у подальшому може забезпечити їх ефективне і безпечне практичне застосування як допоміжних харчових добавок у харчових технологіях, зокрема під час пророщування зерна, створення належних умов очищення сироватки молочної застосуванням пірогенного кремнезему, інтенсифікації ферментування кислої сироватки тощо.

Література

Дмитруха, Н. М., Лагутіна, О. С., Громовий, Т. Ю., Пилипчук, Є. В. (2021). Дослідження безпечності нанопрепаратів заліза і міді за їхнім впливом на білки плазми крові людини в умовах *in vitro*. *Український журнал з проблем медицини праці*, 17(3), 139—150.

Дмитруха, Н. Н. (2013). Культура клеток как *in vitro* модель в токсикологических исследованиях. *Медікс — Антиейджинг*, 3(33), 50—55.

Дубівко, А. С., Кочубей-Литвиненко, О. В., Черношок, О. А., Пушанко, Н. М. (2022). Перспективи використання колоїдного розчину цинку при пророщуванні зерна голозерного вівса. *Наукові праці НУХТ*, 28 (1), 87—198.

Кочубей-Литвиненко, О. В., Лопатько, К. Г. Нанобіотехнологічні основи спрямованого збагачення молочної сироватки мінеральними елементами. *Наукові праці НУХТ*, 2021, 27(5), 134—148.

Кочубей-Литвиненко, О. В., Пухляк, А. Г., Щербатюк, О. Г. (2023). Вплив електроіскрового оброблення сироватки молочної на інтенсивність її ферментації. *Наукові праці НУХТ*, 29(3), 159—167.

Лопатько, К. Г., Афтандіянц, Є. Г., Зазимко, О. В., Трач, В. В. (2016). *Фізика, синтез та біологічна функціональність нанорозмірних об'єктів*: монографія. Київ: Вид-во НУБіП України.

Трахтенберг, І. М. Дмитруха, Н. М. (2013). Наночастинки металів, методи отримання, сфери застосування, фізико-хімічні та токсичні властивості. *Український журнал з проблем медицини праці*, 4(37), 62—74.

Чекман, І. С., Ульберг, З. Р., Руденко, А. Д. та ін. (2013). Цинк і наноцинк: властивості, застосування у клінічній практиці. *Український медичний часопис*, № 2(94), 42—47.

Howaida, N., Atti, H., Shalaby, M., Arafah, M. (2013). Oral exposure to zinc oxide nanoparticles induced oxidative damage, inflammation and genotoxicity in rat's lung. *Life Science Journal*, 10(1), 1969—1979. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2016.02.008> (дата звернення 10.10.2023).

ICCVAM (2001). Report of the International Workshop on In Vitro Methods for Assessing Acute systemic Toxicity. ICCVAM-NICEATM workshop, Arlington, VA, USA. 2000. NIH Publication N. 01-4499, 370.

Jiang, J. (2018). The advancing of zinc oxide nanoparticles for biomedical applications. *Bioinorganic Chemistry and Applications*. Article ID 1062562. DOI: 10.1155/2018/1062562 (дата звернення 09.10.2023).

Kharazian, B., Hadipour, N. L., Ejtehad, M. R. (2016). Understanding the nanoparticle-protein corona complexes using computational and experimental methods. *International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 75, 162—174. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2016.02.008> (дата звернення 10.10.2023).

Liu, J., Feng, X., Wei, L., Chen, L., Song, B., Shao, L. (2016). The toxicology of ion-shedding zinc oxide nanoparticles, 46(4), 348—384.

Wang, B., Feng, W., Wang, M. et al. (2008). Acute toxicological impact of nano- and submicro-scaled zinc oxide powder on healthy adult mice. *Journal of Nanoparticle Research*, 10(2), 263—276.

USE OF DAIRY PRODUCTS IN THE PRODUCTION OF YEAST-FREE BAKERY PRODUCTS

O. Bilyk, O. Cheridnichenko, Yu. Bondarenko

National University of Food Technologies

A. Fain

Separate structural subdivision Kamianets-Podilskyi professional college of ERIHE
"Kamianets-Podilskyi state institute"

Key words:

*Yeast-free products
flat bread
Sodium bicarbonate
Ryazhenka*

Article history:

Received 14.05.2024

Received in revised form
30.05.2024

Accepted 11.06.2024

Corresponding author:

O. Bilyk

E-mail:

bilyklena@gmail.com

Citation: Білик О. А., Черідніченко О. О., Бондаренко Ю. В., Файн А. В. (2024). Використання кисломолочних продуктів у виробництві бездріжджових хлібобулочних виробів. *Наукові праці НУХТ*, 30(3), 175—188.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-16

4 ABSTRACT

Consumers of bakery products increasingly prefer yeast-free bakery products. Such products are characterized by a higher crumb density and longer shelf life. To diversify the range of yeast-free bakery products and ensure their quality, manufacturers use liquid semi-finished products, additional and non-traditional raw materials, food additives and chemical leavening agents. An urgent problem in the bakery industry is the development of new recipes for yeast-free bakery products.

The aim of this research work is to develop a technology for yeast-free flat bread using fermented milk products and the chemical leavening agent sodium bicarbonate. The study investigated the introduction of 2.5% fat kefir of TM "Yagotynsky", 1.5% fat bifidoyogurt of TM "Yagotynsky" with probiotic BB-12™, 2.0% fat fermented milk drink Ayran, 2.0% fat, and 4.0% fat ryazhenka of TM "Yagotynsky" instead of water on the quality of yeast-free products.

It was found that the products with complete replacement of water with ryazhenka had the highest comprehensive quality index and a shelf life of 48 hours.

To improve the flavor and aroma properties and nutritional value of unleavened baked ryazhenka products, the expediency of using 3% barley-malt extract by weight of flour was established. The resulting products had a longer shelf life compared to the control and a higher content of carbonyl compounds, which indicates an improvement in their taste and odor.

The developed unleavened flat bread with ryazhenka meets the needs of the human body (women aged 18...29 years, I labor intensity group) in proteins by 31.5%, fats by 10.5%, carbohydrates by 49.0% and dietary fiber by 18.3%.

ВИКОРИСТАННЯ КИСЛОМОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ У ВИРОБНИЦТВІ БЕЗДРІЖДЖОВИХ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

О. А. Білик, О. О. Черідніченко, Ю. В. Бондаренко

Національний університет харчових технологій

А. В. Фаїн

ВСП «Кам'янець-Подільський фаховий коледж» навчально-реабілітаційного закладу вищої освіти «Кам'янець-Подільський державний інститут»

Споживачі хлібобулочних виробів все більше надають перевагу бездріжджовим хлібобулочним виробам. Такі вироби характеризуються більшою щільністю м'якушки, тривалістю їх зберігання. Для урізноманітнення асортименту бездріжджових хлібобулочних виробів і забезпечення їх якості виробники використовують рідкі напівфабрикати, додаткову та нетрадиційну сировину, харчові добавки та хімічні розпушувачі. Актуальною проблемою хлібопекарської галузі є розроблення нових рецептур бездріжджових хлібобулочних виробів.

У статті розроблено технологію бездріжджових окрайців із застосуванням кисломолочних продуктів і хімічного розпушувача гідрокарбонату натрію. Досліджувався вплив на якість бездріжджових окрайців використання кефіру 2,5% жирності ТМ «Яготинський», біфідойогурту ТМ «Яготинський» 1,5% жирності з пробіотиком ВВ-12™, напою кисломолочного «Айран», 2,0%, ряжанки, 4,0% жиру ТМ «Яготинська».

Встановлено, що вироби, в яких здійснено повну заміну води на ряжанку мали найбільший комплексний показник якості і термін зберігання — 48 годин.

Для покращання смакоароматичних властивостей і підвищення харчової цінності бездріжджових окрайців на ряжанці встановлено доцільність використання 3% до маси борошна ячмінно-солодового екстракту. Отримані вироби мали більшу, порівняно з контролем, тривалість збереження свіжості та вищий вміст карбонільних сполук, що свідчить про покращання їх смаку та запаху.

Розроблений бездріжджовий окрасць на ряжанці забезпечує потребу в організмі людини (жінки віком 18...29 років, I група інтенсивності праці) білками — на 31,5%, жирами — на 10, %, вуглеводами — на 49,0%, харчовими волокнами — на 18,3%.

Ключові слова: бездріжджові вироби, окрайці, гідрокарбонат натрію, ряжанка.

Постановка проблеми. Сучасним трендом серед споживачів хлібобулочних виробів є споживання бездріжджових виробів. Вважається, що хліб без дріжджів набагато корисніший, він більш щільний, ситний і довго не черствіє. Ще один істотний плюс — скорочений технологічний процес виготовлення виробів. У процесі тістоприготування відсутнє бродіння тіста, а також тістовим заготовкам не потрібно проходити стадію вистоювання. На ринку хлібобулочних

виробів переважають бездріжджові вироби промислового виробництва на різних заквасках, тому доцільно розробити скорочену технологію бездріжджових хлібобулочних виробів за використання кисломолочних продуктів і хімічних розпушувачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виготовлення хлібобулочних виробів без застосування дріжджів хлібопекарських було відоме з давніх часів і застосовувалося як лікувальний засіб при хворобах травлення. Завдяки своїм органолептичним властивостям бездріжджові вироби сприяють бездоганній роботі кишківника, стимулюють активну роботу м'язів шлунково-кишкового тракту (Rybicka, 2023). Їхня досить висока щільність і жорсткість сприяють кращому засвоєнню та ефективній роботі травної системи. Бездріжджові вироби покращують роботу печінки, сприяють стабільній діяльності підшлункової залози, а також здатні знижувати кисле середовище шлунка (Wang та ін., 2021).

Для бездріжджового хліба необхідне прісне тісто, яке не передбачає використання жодних видів дріжджів.

У промислового виробництва для виготовлення бездріжджового хліба використовують воду, борошно, сіль, рослинну олію, натуральну молочну сироватку, суху пшеничну клейковину, лимонну кислоту, яблучне пюре. Тісто вимішують у спеціальних апаратах до утворення пінної маси, посилено збагаченої киснем. Насичення тіста повітрям надає виробам більшого об'єму. Після цього тісто збивають і поміщають у форми. Випікається хліб за температури 260 °C протягом 40 хв (Hamelman, 2021).

Кисломолочні продукти є невід'ємною групою молочних продуктів у раціоні харчування кожної людини. Гарне засвоєння в організмі, дієтичні особливості, лікувальні властивості, що обумовлено вмістом у них молочної кислоти, яка пригнічує розвиток патогенних бактерій і нормалізує мікрофлору кишечника. Крім того, вони містять велику кількість макро- та мікроелементів, вітаміни. Кисломолочні продукти нарівні з молоком забезпечують потреби організму в повноцінному білку та кальції, необхідному для роботи серцево-судинної, кісткової та нервової систем. Тільки в цих продуктах кальцій міститься в оптимальному співвідношенні з фосфором та іншими елементами, що сприяє його кращому засвоєнню (Dong та ін., 2023; Coutinho та ін., 2018).

У практиці хлібопечення знаходить застосування натуральна сирна, казеїнова або несолона сироватка підсирна з вмістом сухих речовин не менше 5,5% (сирова, казеїнова) або 5,6% (несолена підсирна). Головною перешкодою на шляху широкого використання молочної сироватки у практичному хлібопеченні є надзвичайно низька стабільність цього продукту під час зберігання. Кислотність молочної сироватки істотно підвищується за кілька годин зберігання за умов підвищених температур. Перекисла молочна сироватка стає непридатною для застосування (Кочубей-Литвиненко, & Білик, 2015).

Йогурт — це натуральний та поживний ферментований продукт, який широко споживається та цінується в щоденному раціоні, оскільки він є джерелом білка з високим біологічним вмістом, який легко засвоюється, має профіль незамінних амінокислот і користь для здоров'я, що важливо для підтримки метаболізму, збільшуючи витрати енергії та насичення. Крім того, він є джерелом

екзополісахаридів *in situ*, що виробляються його домінуючою ферментативною активністю молочнокислих бактерій, які пов'язані з фізіологічними перевагами, включаючи антиоксидантну активність і протизапальні властивості (Li та ін., 2014). Використання молочного йогурту успішно застосовано для збагачення глютенних (Graça, Raymundo, & Sousa, 2019) та безглютенних (Graça, Raymundo, & Sousa, 2020) хлібобулочних виробів, також спостерігалось покращення глікемічної відповіді на споживання таких виробів та їх біоактивних властивостей (Graça, Raymundo, & Sousa, 2021).

Науковці стверджують, що молочні інгредієнти можна використовувати в хлібобулочних виробках для надання їм харчових переваг, включаючи збільшення вмісту кальцію та коефіцієнта ефективності білка, і функціональних переваг, включаючи смак, покращення текстури й тривалості зберігання. Молочні інгредієнти також покращують водопоглинальну здатність тіста та його реологічні властивості. Науковці стверджують, що молочні інгредієнти можна використовувати в хлібобулочних виробках для надання їм харчових переваг, включаючи збільшення вмісту кальцію та коефіцієнта ефективності білка, та функціональних переваг, включаючи смак, покращення текстури й тривалості зберігання. Молочні інгредієнти також покращують водопоглинальну здатність тіста та його реологічні властивості (Houben, Höchstätter, & Becker, 2012).

Метою статті є розроблення технології бездріжджових крайців із застосуванням кисломолочних продуктів і гідрокарбонату натрію як розпушувача.

Матеріали і методи. Для досліджень використовували борошно пшеничне вищого сорту, гідрокарбонат натрію, цукор білий кристалічний, сіль, солодовий екстракт ячменю, кефір ТМ «Яготинський» (2,5% жирності), біфідойогурт ТМ «Яготинський» (1,5% жирності) з пробіотиком ВВ-12™, напій кисломолочний «Айран» (2,0% жирності), ряжанку (4,0% жирності) ТМ «Яготинська». Лабораторні випікання здійснювалися за рецептурами, наведеними в табл. 1 та 2.

Таблиця 1. Рецептура бездріжджових хлібобулочних виробів з кисломолочними продуктами, %

Сировина	Айран, 2,0% жирності	Кефір, 2,5% жирності	Біфідойогурт, 1,5% жирності	Ряжанка, 4,0% жирності
Борошно пшеничне вищого сорту	100,0	100,0	100,0	100,0
Гідрокарбонат натрію	1,3	1,3	1,3	1,3
Цукор	2,5	2,5	2,5	2,5
Сіль	2,0	2,0	2,0	2,0
Айран, 2,0% жирності	350	—	—	—
Кефір, 2,5% жирності	-	350	—	—
Біфідойогурт, 1,5% жирності	—	—	350	—
Ряжанка, 4,0% жирності	—	—	—	350

Таблиця 2. Рецептúra бездріжджових хлібобулочних виробів на ряжанці з використанням солодового екстракту, %

Сировина	Контроль	Зразки з дозуванням солодового екстракту, % до маси борошна		
		2	3	5
Борошно пшеничне вищого сорту	100,0	100,0	100,0	100,0
Гідрокарбонат натрію	1,0	1,0	1,0	1,0
Цукор	4,0	4,0	4,0	4,0
Сіль	1,5	1,5	1,5	1,5
Ряжанка, 4,0% жирності	35,0	35,0	35,0	35,0
Солодовий екстракт ячменю	—	2	3	5

Якість хліба визначали за фізико-хімічними (кислотність, пористість, питомий об'єм, формостійкість, структурно-механічні властивості м'якушки) та органолептичними показниками (зовнішній вигляд, стан поверхні, забарвлення скоринки, структура пористості, смак, запах (Дробот та ін., 2006). Визначення сторонньої та шкідливої мікрофлори в готових виробих здійснювали за стандартними методиками (Капрельянц та ін., 2016).

Статистичну обробку даних проводили за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel XP.

Результати і обговорення. Молочні продукти досить широко використовуються у хлібопекарському виробництві для надання виробам приємного смаку й аромату та високої харчової цінності. На промислових підприємствах частіше використовують молоко нативне, згущене і сухе, жирне або знежирене, а також побічні продукти виробництва сиру — сироватку підсиру і сиру. Рідкі кисломолочні продукти майже не використовуються.

Першопочаткове дослідження передбачало заміну рецептурної кількості води на рідкий кисломолочний продукт у разі виробництва хлібобулочних виробів типу окрайців із застосуванням як розпушувача гідрокарбонату натрію, тому було доцільно дослідити якість рідких кисломолочних продуктів і адаптувати їх використання в рецептурі хлібобулочних виробів бездріжджових. Вироби виготовляли у вигляді окрайців, що мають мінімальну кількість м'якушки. Дослідження якості обраних кисломолочних продуктів наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Органолептичні та фізико-хімічні показники якості кисломолочних продуктів, n=3, p≥0,95, δ 3...5%

Показник якості	Айран 2,0 % жирності	Кефір 2,5 % жирності	Біфідойогурт 1,5 % жирності	Ряжанка 4,0 % жирності
Органолептичні показники якості				
Зовнішній вигляд і консистенція	Однорідна консистенція з порушеним згустком. Наявне газоутворення	Однорідна, в'язка з порушеним згустком. Наявне газоутворення	Однорідна консистенція з порушеним згустком	Однорідна, щільна консистенція з порушеним згустком. Наявність молочної плівки

Смак і запах	Чистий кисломолочний, смак шипкий, без сторонніх присмаків і запахів	Чистий кисломолочний, смак шипкий, без сторонніх присмаків і запахів	Чистий, кисломолочний	Чистий, кисломолочний з вираженим присмаком пряженого молока
Колір	Молочно-білий, рівномірний за всією масою	Молочно-білий, рівномірний за всією масою	Молочно-білий	Кремовий
Фізико-хімічні показники якості				
Масова частка жиру, %	1,8	1,8	1,4	4,3
Масова частка білка, %	2,1	3,1	2,6	2,7
Кислотність, °Т	100	105	110	100

Аналіз отриманих результатів показав, що обрані види кисломолочних продуктів відповідають показникам якості за нормативною документацією (ДСТУ 4417:2005. Кефір. Технічні умови; ДСТУ 4565:2006. Ряжанка та варенець; ДСТУ 4343: 2004 Йогурти. Загальні технічні умови). За зовнішнім виглядом в айрані та кефірі наявне газоутворення, а в ряжанці присутні молочні плівки, але це не буде заважати утворенню тістової системи в разі їх використання. Висока кислотність кисломолочних продуктів ускладнює їх використання в хлібобулочних виробках у зв'язку з великим впливом кислоти на утворення клейковинного згустка. Результати досліджень показали, що кислотність обраних кисломолочних продуктів знаходиться майже в однакових значеннях, а отже, буде спостерігатися однакове проходження реакції з гідрокарбонатом кальцію та однаковий негативний вплив на клейковину тіста.

На другому етапі досліджень обирали найбільш ефективний кисломолочний продукт за однакового дозування, тобто за заміни рецептурної кількості води. Експериментальні дослідження здійснювали, використовуючи борошно пшеничне вищого сорту, якісний склад якого наведено в табл. 4. Для встановлення впливу кисломолочних продуктів на якість хліба з цього борошна проводили пробні випікання за рецептурою, наведеною в табл. 1.

Тісто готували безопарним способом вологістю 45,5%. Замість тіста здійснювали на двохшвидкісній тістомісильній машині, тривалість замісу на першій швидкості — 4...5 хв на другій швидкості — 5...6 хв. Тривалість відлежування тіста становила 20...30 хв. Формування тістових заготовок здійснювали вручну, тістові заготовки розкачували до товщини 1,5 см і відштамповували штампом 9 × 9 см, які випікали у стележній печі за таких параметрів: температура 200...240 °С, тривалість 16...18 хв. Результати досліджень наведено в таблиці 4 та на рис. 1.

Таблиця 4. Вплив кисломолочних продуктів на показники якості хлібобулочних виробів, n=3, p>0,95, δ 3...5%

Показник	Айран, 2,0 % жирності	Кефір, 2,5 % жирності	Біфідойогурт, 1,5% жирності	Ряжанка, 4,0% жирності
Тісто				

Структура тіста	Після замішування спостерігалось сильне прилипання до робочих органів тістомісильної машини, яке зникло після відлежування тіста	Після замішування спостерігалось сильне прилипання до робочих органів тістомісильної машини, яке зникло після відлежування тіста. Сильно розпушене після відлежування	Після замішування спостерігалось сильне прилипання до робочих органів тістомісильної машини, яке не зникло після відлежування тіста	Після замішування спостерігалось сильне прилипання до робочих органів тістомісильної машини, яке зникло після відлежування тіста. Сильно розпушене після відлежування
Розкочування	Під час розкочування було пружне	Під час розкочування було еластичне	Неможливо було розкатати через липкість. Розтягували до необхідних розмірів	Під час розкочування було еластичне
Відштамповування	Краї були нерівні, наколи нечіткі	Краї були рівні, наколи чіткі	Краї були нерівні, наколи нечіткі	Краї були рівні, наколи чіткі
Готові вироби				
Кислотність, град	3,5	3,5	3,0	3,5
Питомий об'єм, см ³ /100г	126	138	119	142
Формостійкість	0,31	0,45	0,28	0,40
Зовнішній вигляд	Форма правильна, відповідає виду виробу крайців			
Стан поверхні	Гладка, з наколами, з поодинокими неглибокими тріщинами на поверхні	Гладка, з наколами, з вираженими тріщинами та розривами на поверхні	Гладка, з нечіткими наколами, з поодинокими неглибокими тріщинами на поверхні	Гладка, з наколами, з вираженими тріщинами та розривами на поверхні
Колір скоринки	Блідо-жовтий			
Стан м'якушки	Щільна, волога, не липка, досить еластична			
Стан пористості	Дрібна, не розвинена, не рівномірна			
Смак і аромат	Властивий пшеничному хлібу з наявним присмаком і запахом соди, прісний і солонуватий			
Кількість МАФАНМ, КУО/г, після 72 год зберігання	4,5×10 ³	3,8×10 ²	4,8×10 ²	3,1×10 ²

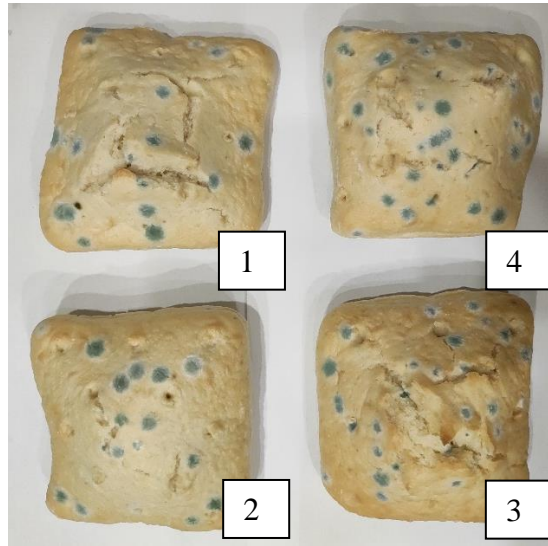


Рис. 2. Фото крайців після 4 днів зберігання: 1 — з айраном, 2,0% жирності, 2 — з кефіром, 2,5% жирності; 3 — з біфідойогуртом, 1,5% жирності; 4 — з ряжанкою, 4,0% жирності

Ефективним інгредієнтом для покращання смакових властивостей хлібобулочних виробів є солодові екстракти із солоду житнього, пшеничного або їх суміші, ячмінного. Для дослідження було обрано солодовий екстракт ячмінний (ТОВ Leirigin Ukraine) — це натуральний продукт, екстрагується з пророщених зерен ячменю, які підсушують на певній стадії проростання і ферментації для збереження хімічного складу і максимальної кількості корисних властивостей. Для встановлення оптимального дозування солодового екстракту проводили лабораторне випікання за рецептурами, наведеними в табл. 2.

Тісто готували безопарним способом вологістю 45,5%. Заміс тіста здійснювали на двошвидкісній тістомісильній машині, тривалість замісу на першій швидкості — 4...5 хв, на другій швидкості — 5...6 хв. Тривалість відлежування тіста становила 20...30 хв. Формування тістових заготовок здійснювали вручну, розкочували до товщини 1,5 см і відштамповували штампом 9×9 см. Вироби випікали у стелажній печі за таких параметрів: температура 200...240 °С, тривалість 16...18 хв. Результати досліджень наведено в табл. 5 та на рис. 3.

Таблиця 5. Вплив ячмінно-солодового екстракту на показники якості хлібобулочних виробів, n=3, p≥0,95, δ 3...5 %

Показник	Контроль	Зразки з дозуванням солодового екстракту, % до маси борошна		
		2	3	5
Тісто				
Структура тіста	Після замішування спостерігалось сильне прилипання до робота	Після замішування спостерігалось прилипання до робота	Після замішування тіста спостерігалось прилипання до робота	Після замішування тіста еластичне,

	липання до робочих органів тістомісильної машини, яке зникло після відлежування тіста. Сильно розпушене після відлежування	чих органів тістомісильної машини, яке зникло після відлежування тіста. Сильно розпушене після відлежування	бочих органів тістомісильної машини, яке зникло після відлежування тіста. Сильно розпушене після відлежування	туге. Сильно розпушене
Розкочування	Під час розкочування було пружне	Під час розкочування було еластичне	Під час розкочування було еластичне, гарно розроблялося, більш м'яке порівняно з контролем	Під час розкочування було найбільш еластичне порівняно з іншими
Відштамповування	Краї були рівні, наколи чіткі	Краї були рівні, наколи чіткі	Краї були рівні, наколи чіткі	Краї були рівні, наколи чіткі
Готові вироби				
Кислотність, град	2,5	2,5	2,0	2,0
Питомий об'єм, см ³ /100 гр	138	142	144	142
Формостійкість	0,42	0,41	0,45	0,48
Зовнішній вигляд	Форма правильна, відповідає виду виробу крайців			Форма випукла, велика верхня скоринка
Стан поверхні	Гладка, з наколами, з поодинокими тріщинами на поверхні	Гладка, з наколами, з вираженими тріщинами та розривами на поверхні	Гладка, з наколами, з вираженими тріщинами та розривами на поверхні	Гладка, з наколами, з вираженими тріщинами та великими розривами на поверхні
Колір скоринки	Світлий з жовтим відтінком	Світло-коричневий	Жовто-коричневий	Коричневий
Стан м'якушки	Щільна, волога, не липка, досить еластична			
Стан пористості	Дрібна, не розвинена, не рівномірна			
Смак і аромат	Властивий пшеничному хлібу з наявним солодовим присмаком			
Комплексний показник якості	84	88	92	85

Встановлено, що використання ячмінно-солодового екстракту здійснює позитивний вплив не тільки на смак, але й на структурно-механічні властивості тіста. Зі збільшенням дозування зникає липкість тіста і покращується його еластичність, що полегшує обробку тіста під час розкочування та штампування. У готових виробах кислотність у нормативних межах. Найбільший питомий об'єм у виробах за дозування 3% до маси борошна ячмінно-солодового екстракту. Найбільш збалансованими за шириною та висотою є вироби з 3% до маси борошна ячмінно-

солодового екстракту. Вироби з 5% до маси борошна ячмінно-солодового екстракту мали дуже випуклу верхню скоринку, що не відповідає вимогам до окрайців. Усі вироби мали приємний смак і аромат. За комплексним показником якості вироби з 3% до маси борошна ячмінно-солодового екстракту отримали найвищий бал. Отже, оптимальним дозування ячмінно-солодового екстракту в рецептуру бездріжджових окрайців на рязанці обрано 3% до маси борошна.



Рис. 3. Фото окрайців: 1 — контроль; 2 — з 2% до маси борошна ячмінно-солодового екстракту; 3 — з 3% до маси борошна ячмінно-солодового екстракту; 4 — з 3% до маси борошна ячмінно-солодового екстракту

Подальші дослідження стосувалися встановлення впливу ячмінно-солодового екстракту на смак і аромат у разі дозування 3% до маси борошна. Оскільки його використання змінить вміст білків, вуглеводів, жирів, що призведе до змін у формуванні аромату, зокрема кількості карбонільних сполук. Результати досліджень кількості карбонільних сполук у скоринці виробів наведено на рис. 4.

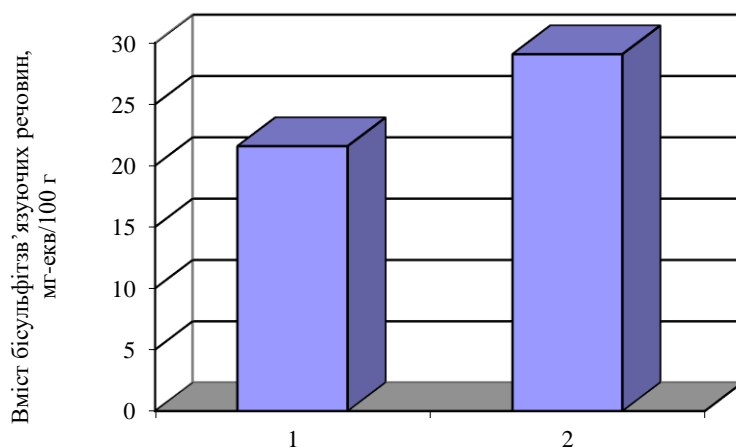


Рис. 4. Вміст бісульфітів'язуючих речовин: 1 — контроль; 2 — з 3% до маси борошна солодово-ячмінного екстракту

Покращання аромату бездріжджових окрайців, зокрема збільшення вмісту бісульфітв'язуючих сполук пояснюється тим, що за рахунок внесення солодово-ячмінного екстракту збільшується вміст цукрів та амінокислот.

Попередніми дослідженнями з мікробіологічної чистоти обмежено термін зберігання бездріжджових окрайців на рязанці до 48 год. Оскільки розроблені вироби малої маси та висоти, процес міграції вологи з центру м'якушки до скоринки буде відбуватися швидко, тому доцільно дослідити зміну показника кришкуватості виробів за рахунок утворення так званих тріщин через утворення пустот під час зберігання виробів. Результати досліджень наведено на рис. 5.

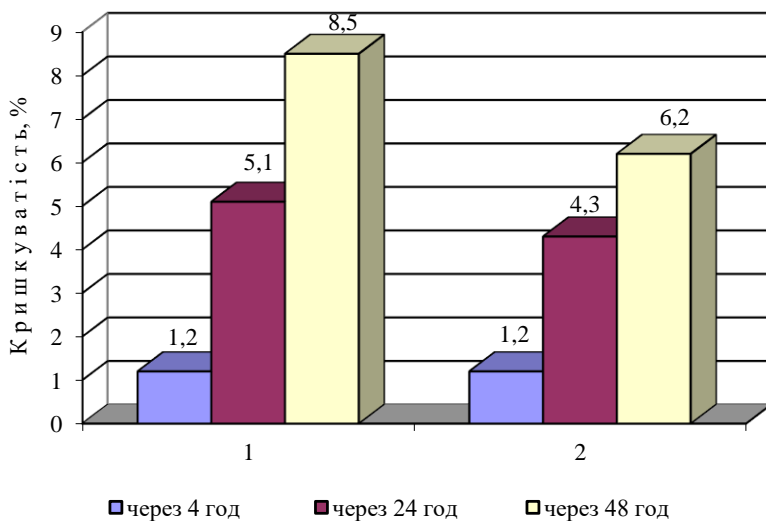


Рис. 5. Кришкуватість готових виробів під час зберігання:

1 — контроль; 2 — з 3% до маси борошна солодово-ячмінного екстракту

Аналіз результатів підтвердив позитивний вплив використання 3% до маси борошна солодово-ячмінного екстракту на подовження свіжості бездріжджових окрайців на рязанці протягом 48 год зберігання. Так, порівняно з контролем, значення кришкуватості м'якушки виробів зменшується у разі зберігання 48 год на 27%. Це пояснюється високою вологоутримуючою здатністю солодово-ячмінного екстракту.

Результатом проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено виріб — бездріжджовий окрасць на рязанці. Харчову цінність нового виробу оцінювали розрахунком хімічного складу.

У розрахунках використовували добову норму споживання хліба — 277 г, передбачену «споживчим кошиком», затвердженим Кабінетом Міністрів України, та норми фізіологічних потреб населення в основних харчових речовинах та енергії (Наказ про затвердження норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії МОЗ України. Норми від 18.11.1999. № 272).

На основі проведених розрахунків було встановлено, що розроблений бездріжджовий окраєць на рязанці забезпечує енергетичну цінність в 239,0 ккал. Розрахунок забезпечення добової потреби організму показав, що розроблений бездріжджовий окраєць на рязанці забезпечує потребу в організмі людини (жінки віком 18...29 років, I група інтенсивності праці) білками — на 31,5%, жирами — на 10,5%, вуглеводами на — 49,0%, харчовими волокнами — на 18,3%.

Таблиця 6. Хімічний склад 100 г бездріжджових окрайців на рязанці та покриття добової потреби в організмі основних нутрієнтів

Харчові речовини	Міститься у 100 г хліба	Середня добова потреба	Міститься у 277 г хліба	Покриття добової потреби
Білки, г	7,6	67	21,1	31,5
Жири, г	2,6	68	7,2	10,5
Вуглеводи, г з них цукри	46,3 2,95	392,00 —	128,3 —	49 —
Зола, г	0,38	—	—	—
Харчові волокна, г	2,0	30,0	5,5	18,3
Енергетична цінність, ккал	239,0	—	662,0	—

Висновки

Встановлено, що найбільший комплексний показник якості отримав виріб з рязанкою, для якого встановлений термін зберігання не більше 48 год.

За комплексним показником якості найбільший бал мають вироби з 3% до маси борошна ячмінно-солодового екстракту, які характеризуються кращим зберіганням свіжості та ароматом, оскільки початковий вміст зв'язаної вологи в виробах з 3% до маси борошна солодово-ячмінного екстракту більший, ніж у контролі на 2,9%, а після 48 год зберігання на 13,8%, при цьому втрата зв'язаної вологи менша на 28,7% порівняно з контролем.

Розроблений бездріжджовий окраєць на рязанці забезпечує потребу в організмі людини (жінки віком 18...29 років, I група інтенсивності праці) білками — на 31,5%, жирами — на 10,5%, вуглеводами — на 49,0%, харчовими волокнами — на 18,3%.

Подяка

Робота була виконана в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи «Наукове обґрунтування та розроблення ресурсоефективних технологій харчової продукції цільового призначення як імператив продовольчої безпеки» 0123U102060.

Література

- Дробот, В. І. (Ред.). (2006). Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництва. Київ: Центр навч. літ-ри.
- Кочубей-Литвиненко О. В., Білик О. А. (2015). Збагачена мінеральними речовинами молочна сироватка як перспективний поліпшувач якості хліба. *Наукові праці НУХТ*, 21(6), 211—219.
- Мікробіологія харчових виробництв (2016). Херсон: Видавець ФОП Грінь Д. С.

Iga Rybicka (2023). Comparison of elimination diets: Minerals in gluten-free, dairy-free, egg-free and low-protein breads. *Journal of Food Composition and Analysis*, 118, 105204. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105204>.

Yaqin Wang, Ching Jian, Anne Salonen, Mingsheng Dong, Zhen Yang (2023). Designing healthier bread through the lens of the gut microbiota. *Trends in Food Science & Technology*, 134, 13—28. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.02.007>.

Barbora Burešová, Luboš Paznocht, Zora Kotíková, Beatrice Giampaglia, Petr Martinek, Jaromír Lachman (2021). Changes in carotenoids and tocopherols of colored-grain wheat during unleavened bread preparation. *Journal of Food Composition and Analysis*, 103, 104108. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104108>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157521003082>).

Hamelman, Jeffrey (2021). *A Baker's Book of Techniques and Recipes* Edition 3rd edition. Wiley.

Lezhen Dong, Ying Li, Qin Chen, Yahui Liu, Zhaohui Qiao, Shangyuan Sang, Jingshun Zhang, Shengnan Zhan, Zufang Wu, Lianliang Liu (2023). Research advances of advanced glycation end products in milk and dairy products: Formation, determination, control strategy and immunometabolism via gut microbiota. *Food Chemistry*, 417, 135861. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135861>.

Nathalia M. Coutinho, Marcelo R. Silveira, Ramon S. Rocha, Jeremias Moraes, Marcus Vinicius S. Ferreira, Tatiana C. Pimentel, Monica Q. Freitas, Marcia C. Silva, Renata S. L. Raices, C. Senaka Ranadheera, Fábio O. Borges, Simone P. Mathias, Fabiano A. N. Fernandes, Sueli Rodrigues, A. G. Cruz (2018). Cold plasma processing of milk and dairy products. *Trends in Food Science & Technology*, 74, 56—68. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.008>.

Li W. et al. (2014). Structural elucidation and antioxidant activities of exopolysaccharides from *Lactobacillus helveticus* MB2-1. *Carbohydrate Polymers*, 102, 351—359.

Graça, C., Raymundo, A., Sousa, I. (2019). Wheat bread with dairy products —Technology, nutritional, and sensory properties. *Applied Sciences*, 9(19), 4101.

Graça, C., Raymundo, A., Sousa, I. (2020). Yogurt as an alternative ingredient to improve the functional and nutritional properties of gluten-free breads. *Foods*, 9(2), 111.

Graça, C., Raymundo, A., de Sousa, I. (2021). Yoghurt and curd cheese addition to wheat bread dough: Impact on in vitro starch digestibility and estimated glycemic index. *Food chemistry*, 339, 127887.

Houben, A., Höchstötter, A., Becker, T. (2012). Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. *European Food Research and Technology*, 235, 195—208.

INFLUENCE OF HYDROMECHANICAL AND TEMPERATURE FACTORS ON THE DYNAMIC VISCOSITY OF PUMPKIN PUREE

L. Avdieieva, A. Makarenko

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine

Key words:

*Rheology
Dynamic viscosity
Pumpkin puree
Meat-based semi-finished product
Food additive*

Article history:

Received 09.05.2024
Received in revised form
22.05.2024
Accepted 11.06.2024

Corresponding author:

L. Avdieieva
E-mail:
tbds_itf@ukr.net

Citation: Авдєєва Л. Ю., Макаренко А. А. (2024). Дослідження динамічної в'язкості гарбузового пюре, зважаючи на вплив гідромеханічних і температурних факторів. *Наукові праці НУХТ*, 30(3), 189—198.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-17

ABSTRACT

The vegetable raw material is highly valuable due to its complex of vitamins, minerals, and dietary fibers. As a result, leading nutritionists suggest its use in the development of new confectionery, meat, dairy, and other food products to enrich them with a complex of beneficial substances. Besides addressing economic, medical-biological, and social tasks, such components can be used to adjust the sensory, functional-technological, and structural-mechanical properties of the main raw materials. Pumpkin is an important vegetable widely cultivated in Ukraine. In the food industry, various parts of pumpkin are used due to their high content of biologically active substances and low caloric value. Studies on the sensory properties and physicochemical composition of pumpkin puree showed significant prospects for its application in food technologies. Pumpkin puree has sweet taste due to simple sugars content, while dietary fibers and pectins contribute to consistency stability. Organic acids affect the pH level. Dynamic viscosity studies showed that pumpkin puree obtained after 1 cycle of homogenization in a rotary pulsation apparatus was characterized by quite high values of effective viscosity — approximately 1900—2000 mPa·s, which is associated with the significant rigidity of the framework of food fibers in the raw material. With increasing duration of hydromechanical influence due to homogenization, there was a gradual decrease in the values of effective viscosity due to the increase in the dispersity of the system and the formation of new, weaker intermolecular bonds between particles. The obtained results will allow influencing the structural-mechanical indicators and organizing objective rheological control of the quality of finished combined products.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-17

ВПЛИВ ГІДРОМЕХАНІЧНИХ І ТЕМПЕРАТУРНИХ ФАКТОРІВ НА ДИНАМІЧНУ В'ЯЗКІСТЬ ГАРБУЗОВОГО ПЮРЕ

Л. Ю. Авдєєва, А. А. Макаренко

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

Овочева сировина має високу біологічну цінність завдяки вмісту комплексу вітамінів, мінеральних речовин і харчових волокон. Зважаючи на це, дієтологи пропонують використовувати її при розробленні нових кондитерських, м'ясних, молочних та інших видів харчових продуктів для збагачення комплексом корисних речовин. Крім вирішення економічних, медико-біологічних і соціальних завдань, такі компоненти можна використовувати для корегування органолептичних, функціонально-технологічних і структурно-механічних властивостей основної сировини. Гарбуз є важливою овочевою культурою, яка широко розповсюджена в Україні. У харчовій промисловості, завдяки високому вмісту біологічно активних речовин і низькій калорійності, використовуються різні частини гарбуза. Дослідження органолептичних властивостей і фізико-хімічного складу гарбузового пюре підтвердили перспективність його застосування в технології харчових продуктів. Прості сахариди надають гарбузовому пюре солодкого присмаку, а харчові волокна і пектини сприяють стабільності консистенції. Органічні кислоти впливають на рівень водневого показника рН. При дослідженнях динамічної в'язкості було встановлено, що гарбузове пюре, отримане в результаті 1 циклу гомогенізації в РПА, характеризується досить високими значеннями ефективної в'язкості — приблизно 1900—2000 мПа·с, що пов'язано зі значною жорсткістю каркасу харчових волокон сировини. При збільшенні тривалості гідромеханічного впливу внаслідок застосування гомогенізації відбувається поступове зниження значень ефективної в'язкості через поступове підвищення дисперсності системи й утворення нових, більш слабких міжмолекулярних зв'язків між частинками. Отримані результати дають змогу впливати на структурно-механічні показники й організувати об'єктивний реологічний контроль якості готових комбінованих виробів.

Ключові слова: *реологія, динамічна в'язкість, гарбузове пюре, м'ясні напівфабрикати, харчові добавки.*

Постановка проблеми. Сучасні складні соціально-економічні умови в Україні призвели до суттєвих порушень і невідповідності нормам раціонального харчування нашого населення. Продукція м'ясопереробної галузі відіграє значну роль у вирішенні питань забезпечення повноцінними якісними продуктами харчування різноманітного призначення. Водночас через кризовий стан тваринництва галузь має значні проблеми, пов'язані з різким скороченням поголів'я ВРХ і свиней, нестабільністю і відхиленням якості м'ясної сировини, які ускладнюють її промислову переробку. Для корегування раціону харчування на основі сучасних досягнень нутриціології, дієтології та харчової хімії увага спеціалістів спрямована на розробленні нових рецептур та удосконалення існуючих технологій харчових

продуктів шляхом використання функціональних компонентів з високою біологічною цінністю (Ципріян, Велика, Аністратенко, & Банковська, 2010; Смоляр, 2012; Лінник, 2013; Сльцова, 2021)

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різні види харчових добавок рослинного походження все частіше використовуються в технології м'ясних продуктів і стали невід'ємною частиною багатьох рецептур для корегування властивостей основної сировини, покращення показників якості готових виробів, а також вирішення багатьох економічних, медико-біологічних і соціальних завдань (Zang et al., 2023; Jiang, & Xiong, 2016; Nieto et al., 2024; Шемет, & Гулай, 2023; Желева, & Розуменко, 2021).

Доцільним є використання у складі нових видів виробів раціонального здорового призначення рослинної сировини, яка містить велику кількість різноманітних БАР, таких як: вітаміни, мінеральні речовини, харчові волокна, пектинові речовини тощо. До такої сировини відносяться продукти переробки гарбуза. Їстівна частина гарбуза відноситься до низькокалорійних продуктів. Найбільшу частку поживних речовин становлять вуглеводи: моно- і дисахариди (глюкоза, фруктоза, сахароза), а також полісахариди (крохмаль, клітковина і пектинові речовини, представлені протопектином). Загалом, харчові волокна становлять від 20% до 50% від кількості вуглеводів. Крім того, до складу їстівної частини входить велика кількість макро- і мікроелементів та вітамінів, а також незначна кількість органічних кислот. Такий цінний склад дає змогу віднести їстівну частину гарбуза до сировини з високою біологічною цінністю, яку можна використовувати в раціональному і дієтичному харчуванні. Недоліком цієї сировини є відносно короткий термін зберігання і схильність до мікробного псування.

Найчастіше м'якоть гарбуза використовується в харчуванні у вигляді паст, соків, соусів або сухих порошоків. Виробництво овочевих пюре і порошоків набуло широкого розповсюдження в усьому світі завдяки можливості скорочення сезонних втрат, збільшенню тривалості зберігання, а також зменшенню витрат на зберігання й транспортування. Одним із раціональних способів переробки м'якоти гарбуза є виробництво пюре. Його можна використовувати як основний компонент або як функціональний інгредієнт у різноманітних кондитерських, хлібобулочних, м'ясних і молочних výroбах та напоях (Aziz et al., 2023; Ammar et al., 2014; Farzana et al., 2023; Verma et al., 2015; El-Dardiry et al., 2022).

Використання рослинної сировини у виробництві м'ясних продуктів дає змогу збагатити їх вітамінами, мінеральними речовинами, харчовими волокнами. Завдяки їх застосуванню можна отримати низькокалорійний продукт функціонального призначення (Пасічний et al., 2019; Basarab et al., 2019).

Отже, продукти переробки гарбуза мають високу біологічну цінність і є перспективною харчовою добавкою для вирішення *технологічних, економічних, медико-біологічних і соціальних завдань у багатьох харчових технологіях*. Реологічні властивості продуктів переробки гарбуза з метою їх подальшого застосування в харчових і біотехнологіях цікавили багатьох вчених, але результати досліджень опубліковані недостатньо повно (Evageliou et al., 2005; Bekele, & Emire, 2023; Japowicz et al., 2023).

Дослідження були спрямовані на розширення знань щодо властивостей гарбузового пюре, зокрема реологічних, для підтвердження перспективності його використання в технології м'ясних напівфабрикатів і паштетів.

Матеріали і методи. Гарбуз мускатного сорту «Медова красуня», що відповідає ДСТУ 3190—95 Гарбузи продовольчі свіжі. Технічні умови.

Дослідні зразки гарбузового пюре були отримані шляхом миття, очищення, бланшування сировини впродовж 20 хв і гомогенізації в роторно-пульсаційному апараті (РПА) циліндричного типу. Органолептичні і фізико-хімічні показники визначались за стандартними загальноприйнятими методиками.

Для характеристики реологічних властивостей гарбузового пюре використовували метод вимірювання динамічної в'язкості за допомогою ротаційного віскозиметра Brookfield LVDV-E. Для зменшення похибки при визначеннях був використаний циліндричний шпindel 63 з діапазоном вимірювання від 2,0 мПа·с до 60 000 мПа·с. Дослідження проводили при умовах термостатування продукту при температурах 20±2 °С, 40±2 °С, 60±2 °С і кутовій швидкості від 0,21 рад/с до 10,5 рад/с. Після підготовки зразків до вимірювань їх залишали на 5—10 хв для відновлення структурних міжмолекулярних зв'язків і вирівнювання температури проби.

Викладення основних результатів дослідження. Використання будь-якого виду сировини можливо тільки після визначення їх відповідності комплексу вимог, передусім сенсорних і фізико-хімічних характеристик. Органолептичні показники отриманого гарбузового пюре представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Органолептичні показники гарбузового пюре

Найменування показника	Характеристика
Зовнішній вигляд і консистенція	Однорідна, пореподібна протерта маса без насіння, яка розтікається на горизонтальній поверхні
Колір	Від світло-жовтого до яскраво-помаранчевого. Однорідний за всією масою, властивий доброякісній овочевій сировині
Запах і смак	Властивий доброякісній овочевій сировині

Результати (табл. 1) свідчать, що гарбузове пюре має органолептичні показники, властиві для традиційних овочевих пюре, що виготовляються харчоцентратною промисловістю. При зберіганні одержаних зразків в охолоджену стані при температурі +4 °С впродовж 48 год ознак розшарування структури не спостерігалось.

Аналіз хімічного складу дослідних зразків є важливим для розрахунку рецептури нового виду харчового продукту. Фізико-хімічні показники гарбузового пюре представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Фізико-хімічні показники гарбузового пюре, %

Показники	Значення показника
Масова частка сухих речовин	7,5
Масова частка білка	1,06
Масова частка жиру	0,1
Масова частка вуглеводів	5,7
Масова частка золи	0,64
pH	4,9—5,1

Аналіз хімічного складу (табл. 2) гарбузового пюре показав високий вміст вологи. Серед поживних речовин найбільшу частку мають вуглеводи, до складу яких входять клітковина і пектинові речовини. За даними літератури частка пектину в гарбузовому пюре становить приблизно 0,36%, що майже наполовину менше, ніж у яблучному пюре (Камбулова, Крапивницька, Оболкіна, & Осипенко, 2010). Також пюре містить невелику кількість білка.

Аналіз одержаних результатів показав, що гарбузове пюре має позитивні органолептичні властивості і фізико-хімічний склад для застосування в технології харчових продуктів. Прості сахаради надають гарбузовому пюре солодкого присмаку і легко перетворюються на додаткове джерело енергії, пектинові речовини і клітковина — густини і стабільності консистенції. Наявність органічних кислот (переважно яблучної і лимонної) впливає на рівень водневого показника рН і формує слабо кисле середовище. Яскравий помаранчевий колір, що притаманний гарбузовому пюре, надасть новому виду харчування приємного кольору, без внесення додаткових штучних барвників.

Структурно-механічні властивості окремих компонентів і їх композицій з іншими інгредієнтами у комбінованих виробках визначають консистенцію продукту, яка входить до головних органолептичних характеристик харчових продуктів. За консистенцією оцінюють якість продукту, порівнюючи цю систему із загальновідомими еталонними продуктами. Реологічні дослідження є важливим етапом робіт, результати якого впливають на вибір обладнання і визначення раціональних теплотехнологічних режимів обробки сировини і процентний вміст компонента при створенні технології нового комбінованого виробу.

Результати досліджень залежності ефективної в'язкості від кутової швидкості дослідного зразка гарбузового пюре, отриманого в результаті одного циклу обробки в РПА при різних температурах, наведені на рис. 1.

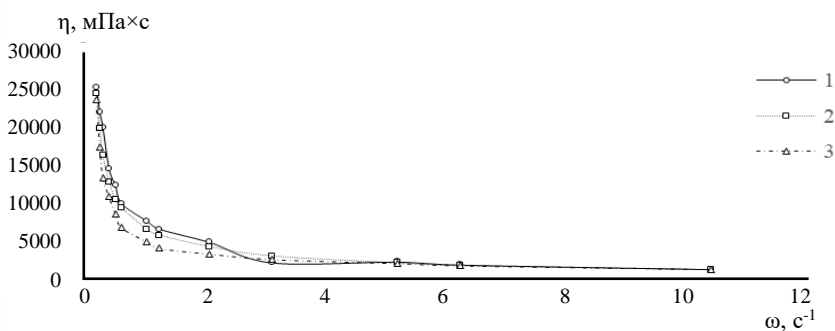


Рис. 1. Залежність ефективної в'язкості від кутової швидкості дослідного зразка гарбузового пюре, отриманого в результаті одного циклу обробки в РПА: 1 — $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 — $T=40\text{ }^{\circ}\text{C}$, 3 — $T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Проведені дослідження (рис. 1) показали, що дослідні зразки гарбузового пюре за реологічною поведінкою відносяться до неньютонівських псевдопластичних матеріалів, в яких значення в'язкості непропорційно знижуються зі збільшенням швидкості зсуву. При низькій кутовій швидкості при значеннях до $0,3\text{ c}^{-1}$ в

зоні практично незруйнованої структури дисперсної системи зразки характеризуються найбільшими значеннями ефективної в'язкості — від 21000 мПа·с до 25 000 мПа·с. Дуже високі значення в'язкості можна пояснити високою жорсткістю ланцюгів харчових волокон (целюлози, геміцелюлози, пектинів) гарбузового пюре, які залишилися незруйнованими в результаті короткочасної обробки в РПА впродовж 1 циклу. При збільшенні значень кутової швидкості у доволі вузькому діапазоні від $0,3 \text{ c}^{-1}$ до $0,63 \text{ c}^{-1}$ спостерігаються найбільш інтенсивні зміни властивостей структури і, відповідно, різке зниження значень ефективної в'язкості, майже в 2 рази. В наступній зоні, при кутовій швидкості від $0,63 \text{ c}^{-1}$ до 5 c^{-1} , продовжує відбуватись руйнування структури, але при незначному уповільненні зміни значень в'язкості. Подальше збільшення значень швидкості понад 5 c^{-1} відповідає переходу дисперсної системи в зону практично зруйнованої структури, внаслідок чого значення в'язкості майже не змінюються, а криві течії мають майже лінійний характер. При цьому дослідна система характеризується все ще високими значеннями ефективної в'язкості, приблизно 1600—2000 мПа·с. Такі високі значення можна пояснити значним вмістом клітковини (майже 30% від кількості сухих речовин) і пектинових речовин у складі гарбузового пюре.

Підвищення температури послаблює міжмолекулярну взаємодію між частинками. Найбільш ефективний вплив температури спостерігається в зоні інтенсивного руйнування структури дисперсної системи при кутовій швидкості від $0,63 \text{ c}^{-1}$ до 3 c^{-1} . Підвищення температури з $20 \text{ }^\circ\text{C}$ до $60 \text{ }^\circ\text{C}$ на цій ділянці знижує значення в'язкості в 1,64 раза або майже на 40%. В наступній зоні, зоні практично зруйнованої структури, підвищення температури досліджень майже не впливає на значення в'язкості для дослідних зразків.

Отже, реологічна поведінка такої дисперсної системи залежить як від швидкості деформування, так і від температури, але в різних зонах вплив цих чинників відрізняється. При низьких кутових швидкостях до $0,3 \text{ c}^{-1}$, через велику жорсткість утвореного каркасу частинок дисперсної фази, на значення ефективної в'язкості більше впливають прикладені механічні зусилля зсуву, ніж температура. При збільшенні кутових швидкостей від $0,63 \text{ c}^{-1}$ до 5 c^{-1} відбувається інтенсивне руйнування структури дисперсної системи, зменшуються залежність в'язкості від молекулярної маси. При цьому на в'язкість впливають як швидкість (напруження) деформування, так і температура. В останній зоні, зоні гранично зруйнованої структури, система набуває властивостей ньютонівських рідин.

На реологічні властивості складних дисперсних систем, до яких належить гарбузове пюре, велике значення має ступінь дисперсності. Для зменшення дисперсності твердої фази дослідної системи використовували гомогенізацію в РПА з поступовим нарощуванням гідромеханічного впливу за рахунок збільшення циклічності обробки. Висока ефективність процесів, що відбуваються в РПА, де реалізований принцип дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ), визначається майже одночасним впливом різних механічних, гідродинамічних і гідроакустичних явищ і ефектів — гідравлічного удару, пульсацій швидкості і тиску, зусиль зрізу і зсуву, локальної турбулентності, а також кавітаційних ефектів (Долінський Авдєєва, & Макаренко, 2020; Ivanitsky, Avdeyeva, & Makarenko, 2016).

На рис. 2 наведені залежності результатів досліджень ефективної в'язкості від температури дослідних зразків гарбузового пюре, отриманих при поступовому

збільшенні кількості циклів обробки дисперсних систем в РПА. Дослідження проводились при температурі 20 ± 2 °С, 40 ± 2 °С, 60 ± 2 °С. Результати досліджень ефективної в'язкості наведені для зони гранично зруйнованої структури при кутовій швидкості $5,23 \text{ c}^{-1}$.

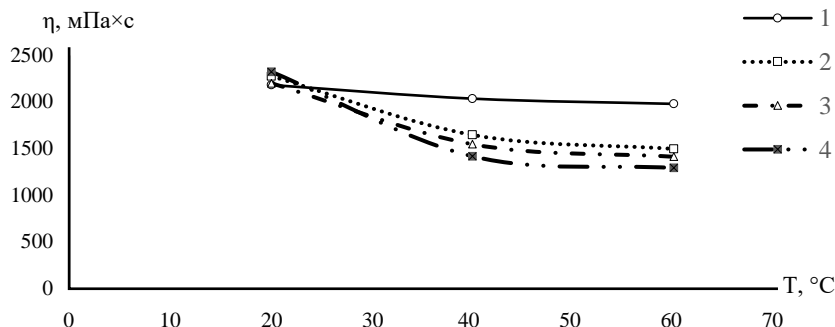


Рис. 2. Значення ефективної в'язкості дослідних зразків гарбузового пюре залежно від температури при зміні кількості циклів обробки в РПА: 1 — 1 цикл; 2 — три цикли; 3 — п'ять циклів; 4 — сім циклів

Проведені реологічні дослідження (рис. 2) підтвердили досить високу міцність каркасу і структурних зв'язків між клітинами м'якоти гарбуза в дисперсних системах, утворених під впливом механізмів ДІВЕ різної тривалості. Під дією інтенсивного гідромеханічного впливу при диспергуванні методом ДІВЕ для утворення гарбузового пюре лінійні волокна клітин клітковини та інших колоїдних речовин утворюють нові розгалужені міжмолекулярні структури з фізико-хімічними і фізико-механічними формами зв'язку води (за класифікацією П. А. Ребіндера для колоїдних капілярно-пористих тіл) на межі поділу «тверде тіло-вода» (Левіт, Сукманов, & Афенченко, 2014).

Посилення інтенсивності впливу механізмів ДІВЕ на складні багатокомпонентні дисперсні системи гарбузового пюре за рахунок подовження тривалості гідромеханічної обробки і збільшення кількості з 1 циклу до 7 циклів обробки в РПА призводить до поступового зниження дисперсності системи, але утворення нових міжмолекулярних зв'язків. Це проявляється у високих значеннях ефективної в'язкості всіх дослідних дисперсних систем при температурі досліджень 20 °С. При значній різниці у тривалості обробки зразка отриманого в результаті 1 циклу і 7 циклів гомогенізації, значення показників в'язкості при цій температурі зменшуються на 18%. Підвищення температури призводить до послаблення міжмолекулярних зв'язків і показники ефективної в'язкості кожного зразка поступово зменшуються. При цьому посилюється значення величини дисперсності системи через збільшення тривалості гідромеханічної обробки зразків. Так, у результаті трьох циклів обробки значення в'язкості дослідного зразка при 40 °С додатково зменшуються ще на 14%, а підвищення температури ще на 20 °С призводить до зниження значень ще на 23% порівняно до зразка 1. Це свідчить про поступове збільшення ступеня руйнування структурного каркасу в утворених дисперсних

системах і зменшення кількості міцних форм зв'язку вологи в результаті гомогенізації дослідних зразків. Система з макроретерогенного стану переходить в мікроретерогенний колоїдний стан. Вплив підвищених температур сприяє орієнтуванню міжмолекулярних і молекулярних структур дисперсної системи вздовж напрямку зсуву. Найменші значення динамічної в'язкості характерні для дисперсних систем, отриманих у результаті п'яти і семи циклів диспергування при температурах дослідження 40 °С і 60 °С.

Припущення щодо наявності досить стійкого структурного каркасу із міцними міжмолекулярними зв'язками в дослідних зразках гарбузового пюре підтверджуються реологічними дослідженнями тиксотропних властивостей дисперсних систем — здатності системи до руйнування і відновлення своєї структури в часі при сталій швидкості деформування. На рис. 3 наведені результати досліджень здатності системи до тиксотропії зразків гарбузового пюре, отриманого в результаті одного циклу обробки в РПА при температурі 40±2 °С.

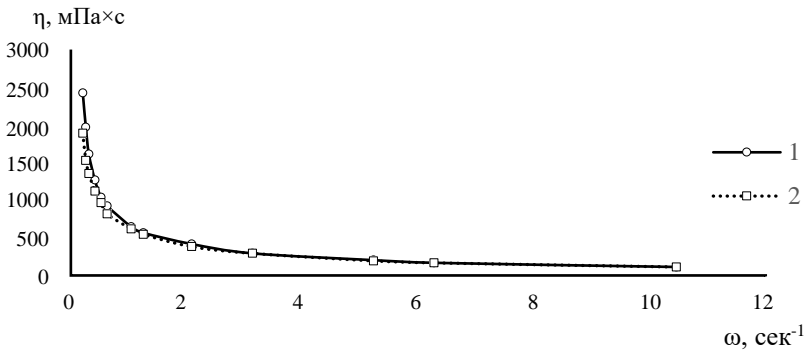


Рис. 3. Залежність ефективної в'язкості від кутової швидкості дослідного зразка гарбузового пюре отриманого в результаті одного циклу обробки в РПА:
 1 — T = 40 °С, 2 — T = 40 °С (зворотний хід)

Аналіз результатів (рис. 3) показав, що при низьких кутових швидкостях дослідна дисперсна система проявляє тиксотропні властивості і структура частково відновлюється при знятті механічної деформації, що можна пояснити значною міцністю зв'язків харчових волокон сировини, які мають здатність до утворення просторових каркасних стінок. При низьких кутових швидкостях течія відбувається шляхом проковзування між структурними елементами без значного руйнування зв'язків. При чому в'язкість у досліді з підвищенням швидкості є дещо більшою, ніж в'язкість при цій же швидкості у наступному досліді при зворотному напрямку швидкості деформації. Утворюється так звана петля гістерезису.

Висновки

Гарбуз є важливою овочевою культурою, яка широко розповсюджена в Україні і в різних регіонах світу. Завдяки високому вмісту біологічно активних речовин і низькій калорійності різні частини гарбуза використовується як функціональний компонент у кондитерських, хлібобулочних, м'ясних, молочних та інших виробках. При дослідженнях динамічної в'язкості було встановлено, що гарбузове пюре, отримане в результаті 1 циклу гомогенізації в РПА, характеризується

досить високими значеннями ефективної в'язкості — приблизно 1900—2000 МПа·с, що пов'язано зі значною жорсткістю харчових волокон сировини. Застосування гомогенізації призводить до поступового зниження дисперсності системи й утворення нових міжмолекулярних зв'язків. Це проявляється у поступовому зниженні значень ефективної в'язкості внаслідок збільшення тривалості гомогенізації, що дасть змогу впливати на структурно-механічні показники готових комбінованих виробів. Результати показали можливість і перспективність використання гарбузового поре в технології різних видів виробів, зокрема у м'ясних напівфабрикатах і паштетах після проведення подальших досліджень.

Література

- Долінський, А. А., Авдєєва, Л. Ю., Макаренко, А. А. (2020). *Кавітаційні технології для виробництва нанопрепаратів*. Київ: Наукова думка.
- Сльцова, Л. Б. (2021). *Наукове обґрунтування шляхів корекції дефіциту основних есенціальних нутрієнтів у харчуванні студентської молоді* (Дис. канд. мед. наук). Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, Київ, Україна.
- Желева, Т., & Розуменко, А. (2021). Вплив харчових добавок рослинного походження на функціонально-технологічні властивості заморожених м'ясних напівфабрикатів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, (4), 47—53. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.4.5>.
- Камбулова, Ю. В., Крапивницька, І. О., Оболкіна, В. І., & Осипенко, У. С. (2010). Визначення можливості використання пектиновмісних поре в технологіях кондитерських оздоблювальних напівфабрикатів. Доступно за посиланням: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/74e0e63c-7235-4485-a413-a55690583fa1/content>.
- Левіт, І. Б., Сукманов, В. О., & Афенченко, Д. С. (2014). *Реологія харчових продуктів*. Донецьк: ДонНУЕТ.
- Лінник, С. О. (2013). Реалізація в Україні міжнародних стратегій щодо здорового харчування населення. *Універс. наукові записки*, 2(46), 21—26.
- Пасічний, В. М., Топчий, О. А., Ткач, Н. І., & Герעדчук, А. М. (2019). Розробка технології паштету печінкового підвищеної харчової цінності. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*, 1(91), 47—53. DOI: <http://doi.org/10.37734/2518-7171-2019-1-6>.
- Смоляр, В. І. (2012). Стан фактичного харчування населення незалежної України. *Проблеми харчування*, 1—2, 5—9.
- Шемет, В., & Гулай, О. (2023). Харчові добавки природного походження: короткий огляд. *Товарознавчий вісник*, 1(16), 6—18. <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2023-17-1>.
- Ципріян, В. І., Велика, Н. В., Аністратенко, Т. І., & Банковська, Н. В. (2010). Гігієнічні аспекти харчування населення України. *Медицина науки України*, 1, 76—83.
- Ammar, A. S. M., El-Hady, E.-S.-A.-A., & El-Razik, M. M. A. (2014). Quality characteristics of low-fat meatballs as affected by date seed powder, wheat germ, and pumpkin flour addition. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 24, 175—185.
- Aziz, A., Noreen, S., Khalid, W. et al. (2023). Pumpkin and Pumpkin Byproducts: Phytochemical Constitutes, Food Application and Health Benefits. *ACS Omega*, 8(26), 23346—23357. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02176>.
- Basarab, I., Drachuk, U., Romashko, I., Halukh, B., Simonova, I., & Moldavanova, L. (2019). The use of pumpkin crumbs in pate technology and their functional characteristics. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 21(92), 23—27. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9205>.
- Bekele, D. W., & Emire, S. A. (2023). Effects of pre-drying treatment and particle sizes on physicochemical and structural properties of pumpkin flour. *Heliyon*, 9(11), e21609. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21609>.

El-Dardiry, A., Abdelazez, A., El-Rhmany, A., & Kadoum, L. (2022). Functional Dairy Beverages Production Using Certain Dairy Byproducts Enriched With Pumpkin (*Cucurbita Maxima L.*) Pulp. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 11(02), 563—573.

Evageliou, V., Ptitchkina, N. M., & Morris, E. R. (2005). Solution viscosity and structural modification of pumpkin biopectin. *Food Hydrocolloids*, 19(6), 1032—1036. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.01.004>.

Farzana, T., Abedin, M. J., Abdullah, A. T. M., & Reaz, A. H. (2023). Exploring the impact of pumpkin and sweet potato enrichment on the nutritional profile and antioxidant capacity of noodles. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100849. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100849>.

Ivanitsky G. K., Avdeyeva L. Y., Makarenko A. A. (2016). Using the effects of hydrodynamic cavitation for purposeful dynamical action on the supramolecular structures. *Physics of aerodisperse systems*, 53, 142—151. <https://doi.org/10.18524/0367-1631.2016.53.159442>.

Janowicz, M., Kadzińska, J., Ciużyńska, A., Szulc, K., Galus, S., Karwacka, M., & Nowacka, M. (2023). The Structure-Forming Potential of Selected Polysaccharides and Protein Hydrocolloids in Shaping the Properties of Composite Films Using Pumpkin Purée. *Appl. Sci.*, 13, 6959. <https://doi.org/10.3390/app13126959>.

Jiang, J., & Xiong, Y. L. (2016). Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review. *Meat Sci.*, 120, 107—117.

Nieto, G., Martínez-Zamora, L., Peñalver, R., Marín-Iniesta, F., Taboada-Rodríguez, A., López-Gómez, A., & Martínez-Hernández, G. B. (2024). Applications of Plant Bioactive Compounds as Replacers of Synthetic Additives in the Food Industry. *Foods*, 13, 47. <https://doi.org/10.3390/foods13010047>.

Verma, A. K., Banerjee, R., & Sharma, B. D. (2015). Quality characteristics of low-fat chicken nuggets: effect of salt substitute blend and pea hull flour. *Journal of Food Science and Technology*, 52(4), 2288—2295. DOI: 10.1007/s13197-013-1218-1.

Zang, E., Jiang, L., Cui, H., Li, X., Yan, Y., Liu, Q., Chen, Z., & Li, M. (2023). Only Plant-based Food Additives: An Overview on Application, Safety, and Key Challenges in the Food Industry. *Food Rev. Int.*, 39, 5132—5163.

УДК 664.1

STUDY OF THE PROCESS OF STRUCTURE FORMATION OF SUGAR MASS IN THE PRODUCTION OF FONDANT CANDIES WITH RETURN WASTE

Yu. Kambulova, O. Dudzinskyi, O. Kohan, V. Nepyivoda

National University of Food Technologies

Key words:

*Confectionery
Fudge candies
Crystal structure
Waste
Sugar crystals
Reducing sugars
Candy syrup*

Article history:

Received 13.05.2024
Received in revised form
31.05.2024
Accepted 17.06.2024

Corresponding author:

Yu. Kambulova

E-mail:

kambulova.julya@ukr.net

Citation: Камбулова Ю. В., Дудзінський О. В., Кохан О. О., Непійвода В. О. (2024). Вивчення процесу структуроутворення цукеркової маси при виробництві помадних цукерок зі зворотними відходами. *Наукові праці НУХТ*, 30(3), 199—208.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-18

ABSTRACT

The change in the quality indicators of fondant masses obtained under the conditions of the introduction of returnable waste of fondant production was analyzed in the article. Fondant confectionery mass is a complex multicomponent structure consisting of sugar crystals evenly distributed in a saturated sugar-molasses solution and a small amount of air bubbles. The process of forming indicators of its quality is very sensitive to various technological factors, primarily to the recipe composition. In order to increase the efficiency of production, to optimize the ways of realization of benign fondant production defects, the change of sensory and physicochemical indicators of the quality of fondant masses under the conditions of introduction of complex multi-component systems of returnable waste was investigated.

Based on the results of research, it was established that the addition of returnable waste should be carried out at the stage of boiling candy syrup in the form of a pre-made semi-finished product "Syrup from casings", which is returnable waste dissolved and boiled to dry matter content of 70...75%. The recommended concentration of returnable waste, which can be introduced this way, should not exceed 1...1.4% of the weight of the finished product, because the process of further formation of candy bodies is observed to be complicated. In the recommended values, all physico-chemical indicators of semi-finished products and finished products meet the requirements of technological instructions and DSTU 4135:2021 "Candy".

The introduction of returnable waste at the stage of tempering the candy mass, in the form of unprocessed rejected candies, activates the crystallization process and spontaneous growth of crystals occurs. The induced process leads to the formation of large sucrose crystals, which gives the structure of the formed candy mass an uncharacteristic sandy structure, the product does not meet the requirements of current regulatory documentation.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-18

ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ЦУКЕРКОВОЇ МАСИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПОМАДНИХ ЦУКЕРОК ЗІ ЗВОРОТНИМИ ВІДХОДАМИ

Ю. В. Камбулова, О. В. Дудзінський, О. О. Кохан, В. О. Непийвода
Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано зміну показників якості цукеркових помадних мас, отриманих за умов введення зворотних відходів (ЗВ) виробництва цукерок з помадними корпусами. Помадна кондитерська маса — складна полікомпонентна структура, що складається з кристалів цукру, рівномірно розподілених у насиченому цукрово-патоково-молочному розчині та незначної кількості пухирців повітря. Процес формування показників її якості дуже чутливий до різних технологічних факторів, насамперед до рецептурного складу. З метою підвищення ефективності виробництва, оптимізації шляхів реалізації доброякісного браку помадного виробництва було досліджено зміну органолептичних і фізико-хімічних показників якості цукеркових помадних мас за умов введення складних полікомпонентних систем зворотних відходів.

За результатами досліджень встановлено, що додавання зворотних відходів раціонально здійснювати на етапі уварювання цукеркового сиропу у вигляді попередньо виготовленого напівфабрикату «Сироп з корпусів», який являє собою розчинені та уварені до вмісту сухих речовин (СР) 70...75% зворотні відходи. Рекомендовані концентрації ЗВ, що можуть бути внесені за таким способом, не повинні перевищувати 1...1,4% до маси готової продукції, оскільки спостерігається ускладнення процесу подальшого формування корпусів цукерок. У рекомендованих значеннях усі фізико-хімічні показники напівфабрикатів і готової продукції відповідають вимогам технологічних інструкцій і ДСТУ 4135:2021 «Цукерки».

Введення ЗВ на стадії темперування цукеркової маси у вигляді неперероблених відбракованих цукерок активує процес кристалізації, що спричиняє самочинне нарощування вже існуючих кристалів. Цей процес призводить до утворення кристалів сахарози великих розмірів, що надає структурі сформованої цукеркової маси нехарактерну піщану грубокристалічну структуру, через що продукція не відповідає вимогам чинної нормативної документації.

Ключові слова: кондитерські вироби, помадні цукерки, кристалічна структура, зворотні відходи, кристали цукру, редуруючі цукри (РР), цукерковий сироп.

Постановка проблеми. Основою помадних цукерок є помадна кондитерська маса — напівфабрикат складної гетерогенної структури, який включає три фази: тверду (дрібні кристали цукру), рідку (міжкристалевий сироп) і газоподібну (повітря). Основна частка структури представлена твердою фазою — кристалами цукру розміром від 10 до 20 мкм, які утворюються при інтенсивному збиванні увареного цукрово-патокового сиропу з одночасним охолодженням. У високоякісній помаді основна маса кристалів має розмір, який не перевищує 10 мкм (Гавва, 2006; Kuzu, 2023).

На формування розмірів кристалів сахарози в помаді, її дисперсність впливає низка факторів, які визначають коефіцієнт пересичення цукрово-патокових сиропів до початку росту кристалів. Серед них найбільш вагомим є вихідний рецептурний склад, що формує в'язкість сиропів і, відповідно, мас та визначає розподіл кристалів твердої фази помади за розмірами.

Додавання зворотних відходів до складу рецептурних сумішей для помадних мас, що є одним із напрямів реалізації доброякісного браку на кондитерських підприємствах, суттєво змінює фізико-хімічні показники напівфабрикатів та умови кристалоутворення. Тому проблема пошуку варіантів їх введення з метою підвищення ефективності виробництва, обґрунтування раціональних концентрацій зворотних відходів є актуальним науковим завданням, вирішення якого знаходить практичне застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Від хімічного складу рідкої фази помадного сиропу, який поступає на помадоутворення, залежить розчинність сахарози у рідкій фазі, та закономірно — його в'язкість і дисперсність твердої фази помади. Основною сировиною для помадних сиропів, крім сахарози, є крохмальна патока (або її замітник — інвертний сироп) і згущене молоко (для молочної помади або помади крем-брюле). Складові частини патоки та інвертного сиропу, згущеного молока по-різному впливають як на розчинність сахарози, так і на в'язкість її розчинів, що впливає на кристалізацію сахарози із цих розчинів, оскільки швидкість росту кристалів сахарози зворотно пропорційна в'язкості (Crestani, Bernard, & Giulietti, 2023, Quintas, Brandão, & Cunha, 2006).

На дисперсність помади впливає співвідношення цукру і патоки, що додається, яка змінюється у межах 5...25% до маси цукру. Кількість патоки залежить від призначення помади й способу її формування. Утворення більш дрібних кристалів у присутності більшої кількості патоки може бути пояснене підвищенням в'язкості сиропу, а також підвищенням ступеня пересичення помадного сиропу при одній і тій же вологості, тому що патока сильно знижує розчинність сахарози. Однак надмірний вміст патоки, як і редуруючих речовин, може привести до того, що помада взагалі не буде утворюватися. При зменшенні частки патоки нижче 5% утворюються великі кристали сахарози й виходить помада низької якості (Dorozhynska, & Kokhan, 2021; Korkach, & Krusir, 2017).

Встановлено, що початок кристалізації сахарози уповільнюється при додаванні в її розчини глюкози, мальтози, фруктози, інвертного цукру, сорбіту і яєчного білка. При додаванні 30% крохмальної патоки початок кристалізації уповільнюється майже в 30 разів. Це показує, що декстрини мають найбільшу здатність затримувати початок кристалізації (McGill, & Hartel, 2020; Ocsana-Peana, LUNG, & Ghendov-Moşanu, 2020).

Вміст редуруючих речовин залежить від рецептури помади та інтенсивності інверсії сахарози в процесі приготування помадного сиропу. При підвищенні кількості редууючих речовин, особливо фруктози, збільшується вміст рідкої фази, помада стає більш стійкою до черствіння, але при цьому збільшується гігроскопічність цукерок. Цей фактор має велике значення для неглазованих цукерок, тому стандартом не допускається вміст редууючих речовин у таких цукерках вище 14% (Verma, & Mahajani, 2020; Ouzazzane, & Bounahmidi, 2008).

У той же час на підприємствах кондитерської галузі завжди утворюється бракована продукція, яка не відповідає встановленим для неї вимогам чинної нормативної документації щодо якості та безпечності. Якщо партія продукції відбракована за показниками безпечності, вона потребує утилізації. Партія, яка відбракована за невідповідність органолептичним і фізико-хімічним показникам, може спрямовуватись на повторну переробку і вважається зворотними відходами виробництва. До зворотних відходів також відносять залишки напівфабрикатів, що утворилися в ході виробництва продукції, які частково або повністю втратили якісні чи технологічні властивості та не можуть бути використані за прямим призначенням. Також до зворотних відходів можна віднести продукцію, яка набула невідповідності за споживчими характеристиками в процесі транспортування, наприклад, при пошкодженні цілісності її пакування.

Для кожного групового асортименту існують норми введення зворотних відходів у нову партію продукції, але ця частина не перевищує 5% (в окремих технологіях — 10%), що пов'язано із суттєвим впливом на показники якості готової продукції.

Особливо гостро питання перероблення виробничого браку стосується підприємств, що випускають цукристі кондитерські вироби із складними структурами. До таких відносять і помадну масу. При виробництві помадних цукерок утворюється частка бракованої продукції, причиною якої є технічне оснащення виробництва, кваліфікація співробітників, оперативність технологічного контролю, дотримання режимів технологічного процесу, якості сировини і багато інших факторів. Зворотні відходи помадного виробництва не використовують у рецептурах помадних мас, оскільки всі рецептурні компоненти суттєво впливають на якість помади. Тому кожне підприємство, що випускає вироби на основі помадних мас, намагається оптимізувати виробничий цикл, максимально мінімізуючи утворення зворотних відходів, а браковану продукцію застосовує в рецептурах інших видів кондитерських мас. Проте, знаючи вплив основних рецептурних компонентів на формування якості помади, на кристалоутворення сахарози, можна здійснити спробу дослідити можливість введення складних напівфабрикатів — зворотних відходів помадного виробництва, на якість нової порції помадної маси.

Мета дослідження: визначення впливу різного дозування та способу підготовки зворотних відходів помадного виробництва на органолептичні і фізико-хімічні показники якості помадної маси крем-брюле для встановлення можливості їх раціональної переробки при виробництві цукерок на основі помадного корпусу.

Матеріали і методи. Для досліджень використано цукор білий, патоку крохмальну, молоко згущене. Сировину, напівфабрикати і готову продукцію досліджували органолептично, масову частку вологи у сировині, напівфабрикатах і готової продукції визначали прискореним методом за допомогою сушильної шафи СЕШ-1 та рефрактометричним методом (Hartel, & Hofberger, 2018; Дорожинська, & Кохан, 2021 18).

Виготовлення зразків цукерок здійснювалось на лінії з виробництва помадних цукерок з відливанням корпусів у крохмаль. При проведенні експерименту використовували відходи виробництва цукерок з помадним корпусом, що формувались відливкою в силіконові форми.

Визначення масової частки редуруючих речовин у напівфабрикатах і готовій продукції здійснювали фериціанідним методом за ДСТУ 5059:2008 (19).

Викладення основних результатів дослідження. Для досліджень було взято дві групи зворотних відходів:

- цукерки помадні, глазуровані кондитерською глазур'ю — зразок 1;
- корпуси помадних цукерок до глазурування — зразок 2.

Зразок 1 вводили на етапі темперування цукеркової маси без попередньої підготовки. ЗВ «Корпуси цукерок» вводили на етапі приготування цукрово-патокового сиропу у вигляді напівфабрикату «Сироп з корпусів», який отримували шляхом нагрівання ЗВ «Корпуси цукерок» із невеликою часткою води та подальшим уварюванням до вмісту СР 70...75%.

Показники якості зворотних відходів і напівфабрикатів, використаних для досліджень, наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Показники якості зворотних відходів, використаних для досліджень

Об'єкт контролю	Контрольований показник	Значення показника
ЗВ «Цукерки глазуровані»	Масова частка РР, %	17
ЗВ «Корпуси цукерок»	Масова частка РР, %	20,0
Н/ф «Сироп з корпусів»	Масова частка СР, %	74,8
	Масова частка РР, %	19,0

Для визначень впливу ЗВ на якість напівфабрикатів помадного виробництва було сформовано два зразки досліджень. Для першого зразка вводили тільки ЗВ «Цукерки глазуровані» на етапі темперування цукеркової маси при температурі 82,8 °С. Після темперування масу перекачували на відливання. Для другого зразка передбачили введення ЗВ у двох варіантах: у вигляді н/ф «Сиропу з корпусів», який додавали на стадії виготовлення цукеркового сиропу при температурі 105—106 °С в кількості 10% й уварювали у складі цукрово-патокового сиропу протягом 45 хв до вмісту СР 80%. Н/ф «Сироп з корпусів» готували попереднім розчиненням ЗВ у воді й уварюванням.

Другу частину вводили на стадії темперування цукеркової маси при температурі 82,8 °С з подальшим формуванням корпусів цукерок. Введення ЗВ відбувалось після зменшення рецептурного вмісту цукру білого кристалічного з урахуванням сухих речовин. Режимми проведення основних технологічних операцій і показники якості напівфабрикатів з різних технологічних стадій виробництва наведено в табл. 2.

Результати, отримані при дослідженні якості напівфабрикатів (табл. 2), показали, що при додавання н/ф «Сироп з корпусів» на етапі уварювання цукеркового сиропу підвищує вміст редукуючих речовин як сиропу, так і помадної маси. Це закономірно пов'язано із заміною цукру білого на зворотні відходи, які містять у своєму складі редукуючи цукри: глюкозу, фруктозу, мальтозу — цукри, що утворились при основному виробництві дослідних напівфабрикатів. Так, масова частка редукуючих речовин цукрово-патокового сиропу після 45 хв уварювання підвищилась до 10,5% при раціональному значенні для цього підприємства у 9%,

а РР цукеркової маси на етапі темперування — до 13,5% порівняно з контрольним зразком (до 11%).

Таблиця 2. Технологічні режими і якість напівфабрикатів виробництва помадних цукерок «Ромашка» з введенням зворотних відходів

Етапи	Об'єкт контролю	Контрольований показник	Граничне значення показника	Фактичні значення	
				Зразок № 1	Зразок № 2
Виготовлення цукеркового сиропу	Цукрово-патоковий сироп	Тиск пари, МПа	3,0—4,0	3,9	4,0
		Температура сиропу, °С	104—106	105	106
		Час приготування сиропу, хв	35—45	45	45
		Масова частка СР, %	80—82 (опт. 81)	80,6	80,0
		Масова частка РР, %	9—11 (опт. 10)	9,4	10,0
		н/ф Сироп з корпусів, %		—	10
	Цукрово-патоково-молочний сироп	Час приготування сиропу, хв	15—30 (опт.20—25)	30	30
		Масова частка СР, %	78—80 (опт. 80)	79,6	79,0
		Масова частка РР, %	9—11 (опт. 9,0)	9,2	10,5
		Кінцева температура уварювання, °С	109—126	120	112
Тиск пари, МПа		1,5—3,5	3,5	3,5	
Приготування помадної маси	Помадна маса	Температура помадної маси, °С	Не більш 80	78,5	78,0
		Масова частка вологи, %	10—11 (опт.10,3)	10,0	10,5
Приготування цукеркової маси (темперування)	Цукеркова маса	Температура цукеркової маси, °С	Не більш 85	83,0	83,3
		Масова частка редукуючих речовин, %	Не більш 16	11,0	13,5
Формування та вистоювання корпусів	Цукеркова маса	Температура цукеркової маси, °С	Не більш 85	82,8	82,8
		ЗВ «Цукерки глазурані»,%		0,5	0,2
		Масова частка вологи, %	10,7—11,2 (опт.11)	10,7	11,3
		Масова частка РР, %	Не більш 16 (опт.11)	11,4	13,9
		Температура корпусу після охолодження, °С	19—22 (опт.20—21)	20	20

		Смак, колір, запах, зовнішній вигляд	Цукерки прямокутної форми, структура однорідна	Структура цукеркової маси «піщана»	Структура цукеркової маси «піщана», на виході з шафи охолодження відзначено м'який корпус цукерок
		Масова частка РР, %	Не більш 16	11,5	13,7

Після додаткового введення ЗВ «Цукерки глазуровані» на етапі темперування до обох зразків також спостерігалось нарощування вмісту РР. Але для зразка, який мав вже у складі н/ф «Сироп з корпусів», цей вплив виявився більш значущим, незважаючи на меншу кількість доданих зворотних відходів. Також для цього дослідного зразка спостерігалось незначне збільшення масової частки вологи — до 11,3% за оптимального 11%. Дослідний зразок з вмістом більшої частини ЗВ «Цукерки глазуровані», введеної лише на стадії темперування, мав показники якості, що більшою мірою наближаються до оптимальних. Водночас відмічено утворення «піщаної» структури цукерок після їх відливання, охолодження, що свідчить про нерівномірний процес утворення кристалічної структури. Вочевидь, введення ЗВ на стадії темперування цукеркової маси активує процес додаткової кристалізації і відбувається самочинне нарощування кристалів, сформованих на етапі помадоутворення та внесених зі ЗВ. Тобто додаткове насичення цукеркової маси центрами кристалізації через введення зворотних відходів зміщує утворену під час збивання рівновагу твердої і рідкої фаз і відбувається неконтрольоване нарощування кристалів, більших за розмірами.

Отже, можна зробити висновок, що введення зворотних відходів на стадії темперування недоцільне і призводить до погіршення показників якості готової продукції. Всього досліджувалось внесення 1,95 і 8,5% на 1 тону готової продукції (при нормативі, що використовується для мономас — 9,4%).

На другому етапі досліджень здійснено спробу введення зворотних відходів лише у вигляді н/ф «Сироп з корпусів» на стадії уварювання цукрово-патокового сиропу. Було використано три зразки в різному співвідношенні з цукрово-патоковим сиропом: 5,4%, 2,8%, 1,4% до маси готової продукції. Показники якості ЗВ і напівфабрикатів, які були використані для досліджень, наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Показники якості зворотних відходів, використаних для досліджень

Об'єкт контролю	Контрольований показник	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
		буде вноситись у кількості 5,4%	буде вноситись у кількості 2,8%	буде вноситись у кількості 1,4%
ЗВ «Корпуси цукерок»	Масова частка РР, %	10,6	10,7	10,5
Н/ф «Сироп з корпусів»	Масова частка СР, %	75,0	75,2	74,8
	Масова частка РР, %	8,4	8,5	8,3

Режими проведення основних технологічних операцій та показники якості напівфабрикатів з різних технологічних стадій виробництва наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Технологічні режими і якість напівфабрикатів виробництва помадних цукерок «Ромашка» з введенням зворотних відходів

Етапи	Об'єкт контролю	Контрольований показник	Граничне значення показника	Фактичні значення			
				зразок 1	зразок 2	зразок 3	
Приготування цукеркового сиропу	Цукрово-патоковий сироп	Тиск пари, МПа	3,0—4,0	3,8	3,9	4,0	
		Температура сиропу, °С	104—106	105	105	106	
		Час приготування сиропу, хв	35—45	45	45	45	
		Масова частка СР, %	80—82 (опт. 81)	80,0	80,0	80,0	
		Масова частка РР, %	9—11 (опт. 10)	9,1	9,2	9,2	
			н/ф Сироп з корпусів, % до маси готової продукції		5,4	2,8	1,4
	Цукрово-патоково-молочний сироп	Час приготування сиропу, хв	15—30 (опт. 20—25)	30	30	30	
		Масова частка СР, %	78—80 (опт. 80)	80,0	80,0	80,0	
		Масова частка РР, %	9—11 (опт. 9,0)	9,0	9,1	9,1	
		Кінцева температура уварювання, °С	109—126	120	120	120	
Тиск пари, МПа		1,5—3,5	3,5	3,5	3,5		
Приготування помадної маси	Помадна маса	Температура помадної маси, °С	Не більше 80	79,8	79,9	80,0	
		Масова частка вологи, %	10—11 (опт. 10,3)	10,4	10,3	10,4	
Приготування цукеркової маси (темперування)	Цукеркова маса	Температура цукеркової маси, °С	Не більше 85	85,0	85,0	84,8	
		Масова частка РР, %	Не більше 16	11,2	11,5	10,9	
Формування та вистоювання корпусів	Цукеркова маса	Температура цукеркової маси, °С	Не більше 85	84,5	84,6	84,3	
		Масова частка вологи, %	10,7—11,2 (опт. 11)	11,0	10,8	10,8	
		Масова частка РР, %	Не більше 16 (опт. 11)	11,0	11,6	11,0	
		Температура корпусу після охолодження, °С	19—22 (опт. 20—21)	20	20	20	

		Смак, колір, запах, зовнішній вигляд	Цукерки прямокутної форми, структура однорідна	Структура однорідна, але дуже в'язка, що ускладнює формування корпусів		Відповідає
		Масова частка РР, %	не більше 16	11,3	11,6	11,1

Як показали результати досліджень якості напівфабрикатів на всіх етапах технологічного процесу і дослідження якості готової продукції, додавання напівфабрикату «Сироп з корпусів» в усіх дослідних концентраціях не спричинило надмірне нарощування редуруючих речовин, залишаючи значення в раціональних межах. Усі інші фізико-хімічні показники також характеризувались значеннями, рекомендованими для виробництва. Проте структура зразків з введенням 5,4 і 2,8% ЗВ до маси готового продукту відмічена як однорідна, але дуже в'язка, що ускладнює формування корпусів на відливальній машині. Корпус цукерок після операції розкромалювання не набував достатньої міцності для проведення подальшої обробки поверхні. Поясненням такого браку може бути підвищення вмісту рідкої фази у гетерогенній системі помади (у вигляді насиченого цукрово-паточково-молочного розчину). Для таких розчинів обов'язковою умовою нарощування кристалів є введення додаткових центрів кристалізації у вигляді «затравки», що слугуватиме «рушійною силою» для кристалізації. За визначених умов експерименту дослідні цукеркові маси не можуть бути рекомендовані до впровадження.

Зразки цукеркової маси із застосуванням 1,4% ЗВ до маси готового продукту не мали проблем із формуванням. Структура готових цукерок відповідала всім застосовуваним вимогам і була рекомендована для використання в технологічному процесі.

Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено, що додавання зворотних відходів повинно здійснюватись на етапі уварювання цукеркового сиропу у вигляді попередньо виготовленого напівфабрикату «Сироп з корпусів», який являє собою розчинені та уварені до вмісту СР 70...75% зворотні відходи. Рекомендовані концентрації ЗВ, що можуть бути внесені за таким способом, не повинні перевищувати 1...1,4% до маси готової продукції, оскільки спостерігається ускладнення процесу подальшого формування корпусів цукерок. У рекомендованих значеннях усі фізико-хімічні показники напівфабрикатів і готової продукції відповідають вимогам технологічних інструкцій і ДСТУ 4135:2021 «Цукерки».

Введення ЗВ на стадії темперування цукеркової маси у вигляді неперероблених відбракованих цукерок активує процес кристалізації, що спричиняє самочинне нарощування сформованих кристалів. Процес призводить до утворення кристалів сахарози великих розмірів, що надає структурі цукеркових корпусів нехарактерну для помадних цукерок грубокристалічну піщану структуру, продукція не відповідає вимогам чинної нормативної документації.

Література

- Гавва, О. О. (2006). *Удосконалення технологій неглазурованих цукерок з метою подовження терміну їх зберігання*. (Дис. на здобуття ... канд. техн. наук). Національний університет харчових технологій. Київ.
- Дорожинська О. С., Кохан О. О. (2021). Зміна якості неглазурованих цукерок кристалічної структури на основі комбінації цукрів лактози та фруктози протягом їх зберігання. *Харчова промисловість*, 30, 18—28. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/40740>.
- Bhandari, B. R., & Hartel, R. W. (2002). Co-crystallization of Sucrose at High Concentration in the Presence of Glucose and Fructose. *Journal of Food Science*, 67(5), 1797—1802. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08725.x>.
- Crestani, C. E., Bernardo, A., Costa, C. B., & Giulietti, M. (2018). Experimental data and estimation of sucrose solubility in impure solutions. *Journal of Food Engineering*, 218, 14—23. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.08.023.
- Dorozhynska, O., & Kokhan, O. (2021). Changing the quality of unglazed candies with a crystalline structure based on a combination of lactose and fructose sugars during storage. *Харчова промисловість*, 30, 18—28. DOI: 10.24263/2225-2916-2021-30-4.
- Dorozhynska, O., Kokhan, O., & Kambulova, Y. (2021). Sorption characteristics of fondant candies based on tagatose. DOI: 10.24263/2304-974X-2021-10-4-12.
- Hartel, R. W. *Confectionery Science and Technology*: ebook / R. W. Hartel, J. H. Von Elbe, R. Hofberger. USA: Springer International Publishing, 2018.
- Korkach, H., & Krusir, G. (2017). Development of innovative technologies of fondant candies with synbiotics. *Технологический аудит и резервы производства*, 1(3(33)), 50—55. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.93806>.
- Kuzu, S. (2023). Determination of Moisture Content and Crystallinity of Hard Candies by TD-NMR (Master's thesis, Middle East Technical University). <https://hdl.handle.net/11511/105164>.
- McGill, J., & Hartel, R. W. (2020). Water relations in confections. *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*, 483—500.
- Ocsana, Opris, Ildiko, Lung, Maria-Loredana, Soran, Rodica, Sturza, Aliona, Ghendov-Mosanu (2020). Fondant Candies Enriched with Antioxidants from Aronia Berries and Grape Marc. *Revista de Chimie*, 71(2), 74—79. <https://doi.org/10.37358/Rev.Chim.1949>.
- Quintas, M., Brandão, T. R., Silva, C. L. M., & Cunha, R. L. (2006). Rheology of supersaturated sucrose solutions. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 844—852. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.08.01>.
- Ouazzane, S., Messnaoui, B., Abderafi, S., Wouters, J., & Bounahmidi, T. (2008). Modeling of sucrose crystallization kinetics: the influence of glucose and fructose. *Journal of Crystal Growth*, 310(15), 3498—3503. DOI: 10.1016/j.crysgro.2008.04.042.
- Verma, P., Shah, N. G., & Mahajani, S. M. (2020). A Novel Technique to Characterize and Quantify Crystalline and Amorphous Matter in Complex Sugar Mixtures. *Food Analytical Methods*, 13(11), 2087—2101. DOI: 10.1007/s12161-020-01789-1.

COMPLEX FORMATION CHARACTERISTICS AND ANALYTICAL PROPERTIES OF ACYCLIC POLYETHERS**O. Kronikovskii, A. Mikhaliuk, O. Kronikovska***National University of Food Technologies***N. Stadnichuk***L.I.Medved's research center of preventive toxicology, food and chemical safety, ministry of health, Ukraine (state enterprise)***Key words:***Crown ethers**Extraction**Metals**Complexation***Article history:**

Received 09.05.2024

Received in revised form
23.05.2024

Accepted 07.06.2024

Corresponding author:

O. Kronikovskii

E-mail:oleg.kronikovsky@gmail.
com

Citation: Кроніковський О. І., Михалюк А. П., Кроніковська О. П., Стаднічук Н. О. (2024). Особливості комплексоутворення та аналітичні характеристики ациклічних поліетерів. *Наукові праці НУХТ*, 30(3), 209—216.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-19

ABSTRACT

The complex formation of neutral ligands such as polyethylene glycol (PEG) with metal cations can be represented as follows. The flexible molecule of polyethylene glycol sequentially fills the solvation sphere of the cation, like the behavior observed in crown ethers. Evidently, the polymer chain itself becomes multiply charged in the process, as in the limiting case, every 6—8 oxygen atoms bind one cation. This leads to certain conformational changes in the chain. For example, in the case of polyethylene glycol binding salts, a decrease in intrinsic viscosity and an increase in polymer chain rigidity are observed, indicating an expansion of the ligand macromolecule coil during complex formation due to electrostatic repulsion between the metal cations. As the charge accumulates, the polymer molecule unfolds, attempting to adopt an extended chain conformation with crown-like complexes arranged along it. The electrostatic repulsion forces are partially offset by the screening effect of counterions, but at low salt concentrations, the anionic screening effect is insufficient to reduce the electrostatic potential that arises from cation binding, and the cations cannot be placed closely together on the chain. The stoichiometry of metal salt complexes with polypodands is quite varied. For instance, the composition of PEG complexes with HgCl_2 corresponds to a molar ratio of 1:1 (salt: monomer unit). The number of monomer units per binding site for salts such as Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ in methanol are 16.8, 12.3, 13.2, and 14.5, respectively, and increase with decreasing salt concentration. The binding constant of the salt significantly depends on the molar mass of PEG. Generally, the binding constant initially increases and then remains practically unchanged when the polymer's molar mass reaches around 1000—2000.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-3-19

ОСОБЛИВОСТІ КОМПЛЕКСОУТВОРЕННЯ ТА АНАЛІТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЦИКЛІЧНИХ ПОЛІЕТЕРІВ

О. І. Кроніковський, А. П. Михалюк, О. П. Кроніковська

Національний університет харчових технологій

Н. О. Стаднічук

ДП «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л. І. Медведя МОЗ України»

Комплексоутворення нейтральних лігандів типу ПЕГ з катіонами металів можна представити таким чином: гнучка молекула поліетиленгліколю послідовно заповнює сольватну сферу катіона так, як це відбувається у випадку краун-етерів. Вочевидь, що сам полімерний ланцюг при цьому багатократно заряджається, оскільки в граничному випадку кожні 6—8 атомів Оксигену зв'язують один катіон. Це спричиняє певні зміни в конформації ланцюга. Так, для поліетиленгліколю при зв'язуванні солей спостерігається зменшення характеристичної в'язкості, збільшення жорсткості ланцюга полімера, що свідчить про розширення клубка макромолекули ліганда при комплексоутворенні за рахунок електростатичного відштовхування між катіонами металу. З накопиченням заряду молекула полімера розгортається, стараючись прийняти конформацію витягнутого ланцюга з розміщеними на ньому крауноподібними комплексами. Дія сил електростатичного відштовхування частково компенсується екрануючим впливом протийонів, але вплив аніонного екранування при незначних концентраціях солі недостатній для зниження електростатичного потенціалу, який виникає при зв'язуванні катіонів, і катіони не можуть розміщуватися близько між собою в ланцюгу. Стехіометрія комплексів солей металів з поліподандами досить різноманітна. Наприклад, склад сполук ПЕГ з HgCl_2 відповідає молярному співвідношенню — сіль: ланка 1 : 1. Кількість ланок, що припадають на одне місце зв'язування солей Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ в метанолі, складає, відповідно, 16,8; 12,3; 13,2; 14,5 і зростає при зменшенні концентрації солі. Константа зв'язування солі значною мірою залежить від молярної маси ПЕГ. Як правило, константа зв'язування спочатку зростає, а коли молярна маса полімеру досягає 1000—2000 — лишається практично незмінною.

Ключові слова: краун-етери, екстракція, метали, комплексоутворення.

Постановка проблеми. При розробці ефективних методик розділення та визначення катіонів металів в об'єктах навколишнього середовища досить часто використовується рідинна екстракція. Селективність екстракції значною мірою залежить від правильності підбору реагентів, розчинників та умов проведення процесу. Досить селективними реагентами при вилученні ряду металів зарекомендували себе макроциклічні краун-етери (Pavithran, Varma, & Reddy, 2003). У випадку жорстких катіонів лужних і лужноземельних металів спостерігаються сильні кореляційні залежності між екстракційними властивостями краун-етерів і від-

повідністю розмірів порожнини краун-етера діаметра катіона-комплексуютьвача та між стійкістю внутрішньосферних комплексів у воді і значеннями констант екстракції органічними розчинниками — чим вища стійкість комплексів у воді, тим легше вони переходять в органічну фазу (Vogtle, & Weber, 1985; Hiraoka, 1986).

Серед широко досліджуваних натепер краун-етерів досить цікавими є ациклічні довголанцюгові сполуки з великою кількістю донорних атомів — так звані поданди. Серед них, у свою чергу, можна виділити тип сполук, які є розкритоланцюговими аналогами краун-етерів — поліетиленгліколі (ПЕГ) та їх етери, склад яких виражається загальною формулою $R-O-[-CH_2-CH_2-O-]_n-R$ (Bader, & Bukhram, 2014). За селективністю вони, зазвичай, поступаються макроциклічним і макробіциклічним лігандам, однак у ряді випадків проявляють себе як ефективні екстракційні реагенти (Натрус, Кривошеєва, Ламазян, & Брюзгіна, 2018). Систематичне вивчення комплексоутворюючих властивостей цих сполук почалося після відкриття краун-етерів, хоча своє практичне застосування вони знайшли значно раніше (Назаренко, Крониковский, & Сухан, 1987).

Дослідженню закономірностей в таких екстракційних системах і присвячена пропонована стаття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Унікальні властивості ПЕГ, пов'язані з їх здатністю утворювати комплексні сполуки зі значною групою різних за розмірами катіонів, які характеризуються високою спорідненістю до Оксигену, зумовлюються накладанням таких факторів, як висока донорна активність атомів Оксигену, полідентатність, здатність до корпоративної взаємодії та гнучкість ланцюга (Hiraoka, 1986; Васильєва, Горліченко, Шевченко, Шепеліна, & Ганін, 2009). Стійкість комплексів ПЕГ і їх йонна селективність можуть змінюватися в широких межах (Sung, Moorthy, Song, & Ha, 2014). Комплексоутворення в таких системах проходить, зазвичай, швидше, а псевдопорожнина конформаційно більш гнучка, ніж у відповідних макроциклів (Gagabe, Satoh, Satoh, & Sawada, 2006).

Здатність поліетиленгліколей та їх етерів утворювати комплексні сполуки зі значною кількістю катіонів металів і таким чином значно збільшувати розчинність мінеральних солей у неполярних органічних розчинниках стала передумовою для розробки методів екстракційного вилучення, розділення та концентрування катіонів металів у присутності ПЕГ (Сухан, Крониковский, & Назаренко, 1988). Комплексоутворююча та екстракційна ефективність лінійних поліетерів значною мірою залежить від їх концентрації, природи розчинника і протийона, а також температури (Симонова, Дубровина, & Морозова, 2009).

Мета статті полягає в дослідженні екстракційно-аналітичних характеристик комплексів карбоксилатів металів з дешевими ациклічними довголанцюговими поліетерами з метою підбору умов кількісної і разом з тим селективної екстракції цих комплексів для розробки методик вилучення та подальшого визначення відповідних металів в різних об'єктах. Можливість розробки таких методик може бути передбачена, якщо відомі кількісні характеристики стійкості сполук — константи стійкості, а в екстракційних системах — константи екстракції, а також чинники, що впливають на ці величини. Методології визначення та аналізу цих величин присвячене пропоноване дослідження.

Матеріали і методи. Розчини ПЕГ-400, ПЕГ-600, ПЕГ-1000 («Loba Feinchemie»), ПЕГ-1500 («Merck»), Triton X-305 («Ferak»), Криптофіксу-5 готували за точною наважкою. Вихідні розчини нітратів металів «х.ч.» стандартизували комплексометрично. Розчин трихлорацетатної кислоти стандартизували рН-метричним титруванням. Хлороформ очищали багаторазовим промиванням водою.

Вміст металів у водній та органічній фазах визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі «Сатурн-3П-1» (полум'я пропан-бутан — повітря). Реєстрацію аналітичного сигналу вели за допомогою програмного забезпечення виробництва НВО «Семі» (м. Суми). Кислотність розчинів контролювали на рН-метрі ЕВ-74 зі скляним електродом.

Викладення основних результатів дослідження. Ми виявили, що, як і 18-краун-6, дешевий ациклічний поліетер ПЕГ-1500, який містить в середньому 35 поліоксietiленових ланок, також здатний кількісно вилучати в органічну фазу плумбум трихлорацетат. Оскільки величина константи стійкості β_L комплексу Плумбуму з ПЕГ—1500 у водній фазі відносно незначна ($M^{n+}_B + L_B \leftrightarrow ML^{n+}_B$; $\beta_L = [ML^{n+}]_B / [M^{n+}]_B [L]_B$), а константа розподілу ПЕГ—1500 між органічною та водною фазами ($L_B \leftrightarrow L_o$; $P_L = [L]_o / [L]_B$) значно вища ($P_L = 25$) (Atanassova, & Dukov, 2005), ніж для 18-краун-6, то концентрацією бінарних комплексів $PbPEG^{2+}$ у водній фазі можна знехтувати.

Тоді реакцію утворення в органічній фазі екстрагованої комплексної сполуки можна записати у вигляді рівняння:



Константа рівноваги цього процесу являє собою загальну константу екстракції:

$$K_{ex} = [PbLA_2]_o / [Pb^{2+}]_B [L]_o [A^-]_B^2.$$

Для розрахунку констант екстракції комплексів металів з поліетерами необхідно мати значення рівноважних концентрацій, присутніх у системі компонентів.

Якщо припустити, що метал переходить в органічну фазу виключно у вигляді комплексу MLA_n , то рівноважну концентрацію цього комплексу в органічній фазі після екстракції можна визначити, знайшовши відповідним інструментальним методом вміст металу в органічній фазі.

Розрахунок рівноважної концентрації краун-етера проводимо, зважаючи на те, що за умов рівноваги загальна концентрація ліганда складає:

$$C_L = [L]_o + [L]_B + [ML^{n+}]_B + [MLA_n]_o;$$

$$[L]_B = [L]_o / P_L;$$

$$[ML^{n+}]_B = \beta_L [M^{n+}]_B [L]_o / P_L;$$

$$C_L = [L]_o + [L]_o / P_L + \beta_L [M^{n+}]_B [L]_o / P_L + [MLA_n]_o, \text{ звідки}$$

$$[L]_o = (C_L - [MLA_n]_o) P_L / (1 + P_L + \beta_L [M^{n+}]_B).$$

При розрахунку рівноважної концентрації карбоксилат-йона зважаємо, що за умов рівноваги загальна концентрація карбонової кислоти при відсутності її димеризації дорівнює:

$$C_{HA} = [A^-]_B + [HA]_B + [HA]_o + n[MLA_n]_o;$$

$$[HA]_o = [HA]_B + P_{HA};$$

$$[HA]_B = [H^+]_B [A^-]_B / K_{HA};$$

$$C_{HA} = [A^-]_B + (1 + P_{HA}) [H^+]_B [A^-]_B / K_{HA} + n[MLA_n]_o, \text{ звідки}$$

$$[A^-]_B = C_{HA} - (1 + P_{HA}) [H^+]_B [A^-]_B / K_{HA} - n[MLA_n]_o.$$

Розрахунок рівноважної концентрації металу базується на тому, що за умов рівноваги загальна концентрація металу рівна:

$$C_M = [M^{n+}]_B + [ML^{n+}]_B + [MLA_n]_O.$$

Оскільки в екстракційній системі з ПЕГ—1500 $[M^{n+}]_B > [ML^{n+}]_B$, то для розрахунку константи екстракції K_{ex} необхідно мати значення $[M^{n+}]_B$:

$$[M^{n+}]_B = (C_M - [MLA_n]_O)(1 + P_L + \beta_L[M^{n+}]_B)/(1 + P_L + \beta_L([M^{n+}]_B + C_L - [MLA_n]_O)).$$

Розраховані таким чином значення K_{ex} наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Термодинамічні константи екстракції комплексів PbL(TXA)₂ різними розчинниками

Розчинник	18-краун-6		ПЕГ-1500	
	P_L	$\lg K_{ex}$	P_L	$\lg K_{ex}$
CHCl ₃	6,3	8,02	25	4,2
CH ₂ Cl ₂	4,5	8,30		4,6
C ₂ H ₄ Cl ₂	1,1	8,21		4,5

Нітратні комплекси металів в присутності ПЕГ-1500, на відміну від 18-краун-6, в органічну фазу практично не вилучаються.

Своєрідним є вплив розчинника на значення констант екстракції комплексу PbL(TXA)₂. Величина $\lg K_{ex}$ зростає в ряду CHCl₃ < C₂H₄Cl₂ < CH₂Cl₂; при цьому різниця в K_{ex} для різних за природою розчинників ледве перевищує похибку експерименту. Цей же ряд спостерігається для екстракції комплексів Плюмбуму з 18-краун-6 та поліетиленгліколями в присутності пірат-аніонів чи органічних барвників (Bond, Dietz, & Chiarizia, 2000; Rehman Ali, Anwar, & Yawar, 2006). В той же час у випадку аніонів пікрату та метанілового жовтого при заміні C₂H₄Cl₂ на CHCl₃ і CH₂Cl₂ на CH₂Cl₂ константа екстракції збільшується приблизно на порядок, тоді як для трихлорацетату ці зміни значно менші. Варто відмітити, що для системи плюмбум нітрат — дициклогексил-18-краун-6 оптимальним розчинником виявився CHCl₃; інші хлорорганічні розчинники екстрагували Плюмбум значно гірше. Тож плюмбум трихлорацетат займає проміжне положення між нітратом і пікратом як у ряду абсолютних значень констант, так і з огляду на закономірність зміни констант екстракції при заміні розчинника.

Більш міцні комплекси з металами утворюють ациклічні ліганди з функціональними групами на кінцях поліоксиетиленового ланцюга. Так, рідкоземельні елементи екстрагуються в присутності Криптофіксу-5 — поліетеру з кінцевими хінолільними групами (Rehman, Ali, Anwar, & Yawar, 2006). Ми дослідили екстракційну здатність аналога Криптофіксу-5 з більш коротким ланцюгом — 1,10-дихіноліл-1,4,7,10-тетраоксадекану (L*). Цей реагент має 6 донорних атомів (як і 18-краун-6), але на відміну від 18C6 два донорних атоми є атомами Нітрогену.

Було виявлено, що в присутності L* і трихлорацетат-йону Плюмбум переходить в органічну фазу в широкому інтервалі рН. Наряду з Pb²⁺ в таких умовах у різній мірі також екстрагуються йони Купрум, Кобальту і Нікелю.

Методом зміщення рівноваги визначено склад екстрагованих комплексів. У

досліджуваній області концентрацій домінують комплекси складу ML^*A_2 . Реакцію їх утворення можна записати аналогічно утворенню комплексів з ПЕГ—1500:



звідки

$$K_{ex} = [ML^*A_2]_o / [M^{2+}]_B [L^*_o] [A^-]_B^2,$$

де $[L^*_o] = C_{L^*} - [ML^*A_2]_o$; $[A^-]_B = C_A - 2[ML^*A_2]_o$; $[ML^*A_2]_o \cdot 100 / C_M = R(\%)$.

Слід відмітити, що в нейтральному та лужному середовищі ($pH > 4$) реагент L^* повністю розподіляється в органічну фазу в нейтральній формі, а в більш кислих розчинах у хлороформ переходить асоціат $L^*H^+A^-$.

Зважаючи на експериментально отримані значення концентрацій металів у водній і органічній фазах при різних концентраціях компонентів, розраховані значення K_{ex} досліджуваних комплексів (табл. 2).

*Таблиця 2. Розрахунок констант екстракції трихлорацетатних комплексів ML^*A_2 ($C_M = 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $C_A = 0,522$ моль/л; $pH = 6,3$)*

Метал	$C_L \cdot 10^3$, моль/л	R, %	$lg K_{ex}$
Pb	0,6	39	4,05
	1,0	57	4,06
	1,4	70	4,09
	1,8	78	4,11
	Сер. $4,07 \pm 0,03$		
Cu	0,6	12	3,02
	1,0	17	2,96
	1,8	30	3,03
	3,0	42	3,02
	4,0	50	3,02
	5,6	58	3,01
Сер. $3,01 \pm 0,02$			
Ni	4,0	15	2,22
	6,0	20	2,19
	8,0	25	2,18
	12,0	34	2,21
Сер. $2,20 \pm 0,02$			
Co	4,0	7	1,84
	8,0	13	1,84
	12,0	19	1,87
	16,0	24	1,86
Сер. $1,85 \pm 0,02$			

Видно, що в ряду 3d-перехідних елементів екстракція зростає $Co < Ni < Cu$, тобто виконується ряд стійкості Ірвінга-Вільямса. Ще більш високе значення $lg K_{ex}$ спостерігається для Плюмбуму. Близьке значення ($4,2 \pm 0,1$) було отримане для $lg K_{ex}$ плюмбум трихлорацетату довголанцюговим поліетером ПЕГ—1500 (табл. 1). Константи екстракції коротколанцюговими поліетиленгліколями з довжиною ланцюга 3—5 поліоксиетиленових ланок на декілька порядків нижчі (Dukov, & Atanassova, 2003). В той же час 3d-перехідні елементи в системі поліетиленгліколь-трихлорацетат помітною мірою не екстрагуються. Таким чином, введення в

молекулу реагента двох кінцевих хінолільних груп призвело до значного покращення екстракції, хоча й знизило селективність вилучення Пломбуму.

Електронні спектри поглинання комплексів ML^*A_2 в хлороформі (виміряні в присутності надлишку металу у водній фазі) лише незначною мірою відрізняються від спектра L^* ($\lambda_{\max} = 290$ нм): $\lambda_{\max} = 295$ нм (Cu); $\lambda_{\max} = 305$ нм (Co, Pb). Цим вони суттєво відрізняються від спектрів оксихінолінатів металів, у яких через йонізацію оксигрупи лінія поглинання зміщується приблизно до 400 нм. У спектрі комплексу Купруму спостерігається лінія низької інтенсивності ($\lambda_{\max} = 660$ нм), що відповідає d-d-переходу йона Cu^{2+} . Ця лінія розміщена практично там же, де й лінія поглинання комплексу $Cu(NH_3)_2^{2+}$ (660 нм), але значно відрізняється від ліній поглинання $Cu(NH_3)_2^{2+}$ (750 нм) та $Cu(H_2O)_6^{2+}$ (800 нм) (Lehn, Atwood, Davies, MacNicol, & Wogtle, 1996). Таке порівняння дає змогу зробити висновок про координацію обох атомів Нітрогену і в комплексі CuL^*A_2 . Лінії d-d-переходів для комплексів NiL^*A_2 та CoL^*A_2 не спостерігаються через їх низьку інтенсивність порівняно з лінією поглинання ліганда.

Висновки

Унікальні властивості ПЕГ, пов'язані з їх здатністю утворювати комплексні сполуки зі значною групою різних за розмірами катіонів, які характеризуються високою спорідненістю до Оксигену, зумовлюються накладанням таких факторів, як висока донорна активність атомів Оксигену, полідентатність, здатність до корпоративної взаємодії та гнучкість ланцюга, наявність функціональних груп на кінцях поліоксиетиленового ланцюга. Стійкість комплексів ПЕГ і їх йонна селективність можуть змінюватися в широких межах. Комплексоутворення в таких системах проходить, зазвичай, швидше, а псевдопорожнина конформаційно більш гнучка, ніж у відповідних макроциклів.

Література

- Васильева, М. Г., Горліченко, М. Г., Шевченко, С. В., Шепеліна, С. І., & Ганін, Е. В. (2009). Особливості утворення комплексів «хазяїн-гість» краун-етерів з НН-протондонорними молекулами. *Вісник Одеського державного екологічного університету*, 08, 239—244.
- Назаренко, А. Ю., Крониковский, О. И., Сухан, В. В. (1987). Экстракция карбоксилатов свинца в присутствии полиэфиров 18-краун-6 и ПЭГ—1500. *Журнал неорганической химии*, 32(9), 2233—2237.
- Нагрус, Л. В., Кривошеєва, О. І., Ламазян, Г. Р., & Брюзгіна, Т. С. (2018). Вплив модифікації технології екстракції речовини в апараті Сокслета на вміст жирних кислот. *Медична наука України*, 1—2, 18—23.
- Симонова, Т. Н., Дубровина, В. А., Морозова, И. А. (2009). Экстракционное концентрирование и спектрофотометрическое определение Палладия с 4-(2-пиридилазо)-резорцином с водорастворимыми реагентами. *Вопросы химии и химической технологии*, 5, 80—85.
- Сухан, В. В., Крониковский, О. И., & Назаренко, А. Ю. (1988). Аналитическое применение экстракции металлов 18-краун-6 в присутствии трихлорацетат-иона. *Журнал аналитической химии*, XLIV, (11), 1953—1958.
- Atanassova, M., Dukov, I. L. (2005). Crown ethers as synergistic agents in the solvent extraction of trivalent lanthanoids with thenoyltrifluoroacetone. *Separation Science and Technology*, 40, 1103—1113. DOI: 10.1081/SS-200049855.

Bader, Nabil, & Bukhzam, Ali (2014). Crown Ethers: Their Complexes and Analytical Applications. *Journal of Applicable Chemistry*, 3(1), 237—244. https://www.researchgate.net/publication/317398327_Crown_Ethers_Their_Complexes_and_Analytical_Applications.

Bond, A. H., Dietz, M. L., & Chiarizia, R. (2000). Incorporating size selectivity into synergistic solvent extraction: A review of crown ether—containing systems. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 39, 3442—3464. DOI: 10.1021/ie000356j.

Dukov, I. L., & Atanassova, M. (2003). Effect of diluents on the synergistic solvent extraction of some lanthanides with thenoyltrifluoroacetone and quaternary ammonium salt. *Hydrometallurgy*, 68, 89—96. DOI: 10.1016/S0304-386X(02)00171-8.

Gagabe, F. G., Satoh, Y., Satoh, K., & Sawada, K. (2006). Crown ethers as synergist in the 2-thenoyltrifluoroacetone extraction of lanthanoids in 1,2-dichloroethane. *Monatshefte fur Chemie, Chemical Monthly*, 137, 1015—1025. DOI: 10.1007/s00706-006-0503-3.

Hiraoka, M. (1986). *Crown Compounds. Their Characteristics and Applications*. Amsterdam, Oxford, New York: Elsevier Scientific Publishing Company.

Lehn, M., Atwood, J. L., Davies, J. E. D., MacNicol, D. D., Wogtle, F. (1996). *Comprehensive supramolecular chemistry*. Oxford-New York-Tokyo: Pergamon, 1—11.

Pavithran, R., Varma, R. L., & Reddy, M. L. P. (2003). Synergistic solvent extraction of trivalent lanthanoids with mixtures of 1-phenyl-3-methyl-4-pivaloyl-5-pyrazolone and crown ethers. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, 21, 797—813. DOI: 10.1081/SEI-120025924.

Rehman, H., Ali, A., Anwar, J., & Yawar, W. S. (2006). Synergistic extraction of Ce(III), Eu(III) and Tm(III) with a mixture of picrolonic acid and benzo-15-crown-5 in chloroform., *Journal of Radionalytical and Nuclear Chemistry*, 267, 421—425. DOI: 10.1007/s10967-006-0065-1.

Soo Park Sung, Madhappan Santha Moorthy, Hyun-Jin Song, Chang-Sik Ha. (2014). Functionalized mesoporous silicas with crown ether moieties for selective adsorption of lithium ions in artificial sea water. *J Nanosci Nanotechnol*, 14(11), 8845—8851. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25958615/>.

Vogtle, F., & Weber, E. (1985). *Host Guest Complex Chemistry Macrocycles. Synthesis, Structures, Applications*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag.

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 не обов'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 роздруковок на папері формату А4 (поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word). У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані.

Обсяг дослідницької статті має бути не менше 10 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). У дослідницькій статті має бути проаналізовано не менше 15 джерел. Обсяг оглядової статті має бути не менше 25 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). В оглядовій статті повинно бути проаналізовано не менше 40 джерел.

ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ

1. Індекс УДК.
2. Назва статті (англійською та українською мовами).
3. Ініціали та прізвища авторів англійською та українською мовами.
4. Анотація англійською та українською мовами (не менше 1800 символів з пробілами).

Анотація має бути максимально інформативною, це окремий текстовий документ, у якому лаконічно викладені результати дослідження. У тексті анотації не варто використовувати загальні фрази, вказувати несуттєві деталі й загальновідомі положення. Також слід уникати прямих повторів будь-яких фрагментів статті.

5. Ключові слова (5—6 слів/ключових словосполучень англійською та українською мовами).
6. Структура текстової частини:

- постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями;

- аналіз останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор;
- формулювання мети статті;
- викладення основних результатів дослідження;
- висновки і перспективи подальших наукових досліджень.

7. Після тексту статті в алфавітному порядку наводиться список літературних джерел.

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 англomовних журналів має бути доведена актуальність теми у світі, визначені питання, які потребують вирішення, сформульована мета дослідження.

9. 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 вмщатися у висоту і ширину журнальної сторінки.

10. 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.

11. 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).

12. 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.

13. Дата надходження статті до редакції (після тексту надрукованого матеріалу).

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається**. Переклад має бути належної якості.

Відсутність будь-якого з пунктів переліку, зазначеного вище, рецензії, невідповідність вимогам до оформлення, наявність орфографічних, граматичних, стилістичних помилок, автоматичний переклад елементів матеріалу є підставою для відмови в прийнятті статті до друку.

Автор несе відповідальність за додержання вимог чинного законодавства при підготовці матеріалів, у тому числі норм авторського права і достовірність наведених фактичних даних (цитат, посилань, імен, назв тощо).

Адреса редакції:

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

Контактні телефони: міський — (044) 287-92-95, внутрішній — 92-95.

E-mail: npnuht@ukr.net

SUBMISSION GUIDELINES

Dear colleagues,

The editorial board of the Journal “Scientific works of the National University of Food Technologies” invites you to the publication of your manuscripts (<http://sw.nuft.edu.ua>).

Only the manuscripts that have not previously been published in print and electronic media are accepted. The author who submits materials for publication reserves the copyright and provides the right of first publication to the Journal, allows to distribute the manuscript indicating the authorship and the primary source of publication and agrees to placing the electronic version of the manuscript on the website of the V. I. Vernadsky National Library of Ukraine, publicly available electronic network of the University. The author gives the right to the editorial board to review and reject the material submitted for publication. The author can publish one manuscript (of his/her single authorship or co-authored) per every issue of the Journal.

The following documents are necessary to be sent to the e-mail address of the journal (npuht@ukr.net):

- Electronic version of the manuscript;
- A review of the manuscript by a doctorate of the corresponding branch of science. If one of the authors is a doctorate him/herself, then a review is not necessary;
- A statement signed by the author(s) that the manuscript has not been published and is not submitted for publication.

REQUIREMENTS FOR MANUSCRIPTS

The electronic version should be submitted in a Microsoft Word document (margins of 2 cm, Time New Roman, type size 14, spacing 1.5). There should be no blank lines in the manuscript. No extra spaces are allowed between the words. All pages of the manuscript should be numbered.

The number of pages of the research article should be at least 10 (excluding abstracts and references). At least 15 references should be analyzed in the research paper. The length of the review article should be at least 25 pages (excluding abstracts and references). At least 40 references should be analyzed in the review article.

The use of automatic translation for any part of your text (manuscript, abstract, keywords) is not allowed. Translation must be of good quality.

The editors reserve the right to edit the manuscript scientifically and literary.

SEQUENCE OF STRUCTURAL ELEMENTS OF THE MANUSCRIPT

1. UDC index.
2. The title of the manuscript (in English, Ukrainian).
3. Full names of the authors in English, Ukrainian (not more than four authors).
4. An abstract in English, Ukrainian (not less than 1800 characters with spaces). The abstract should be highly informative, it is a separate text document in which the results of the research must be summarized. General phrases, insignificant details and well-known provisions shouldn't be written in the abstract. Direct repetitions of any parts of the article should be also avoided.
5. A list of keywords (5—6 words or key phrases in English, Ukrainian).
6. The structure of the text:
 - Problem definition and its relationship with important practical tasks;
 - Analysis of recent studies and publications related to subject matter of the manuscript;
 - Problem statement (statement of purpose of the manuscript);
 - Presentation of the main material;
 - Conclusions and recommendations for further research.
7. A list of references of their quotation should be presented after the text of the manuscript. **Bibliographic descriptions should be made according to international style APA.** Bibliographic descriptions should be submitted in the language of their edition. Links to unpublished materials are not allowed. The list of references should contain links only to recent and relevant studies. At the end of each reference, the DOI identifier is provided in the format <https://doi.org/> , if it is, or a link to the publication. National standards, specifications, textbooks, lecture notes, laboratory workshops and other non-scientific literature must not be referenced. References to patents should be made in the text of the article, indicating only the number and title of the patent. In the list of references, the sources should be presented in alphabetical order.

The investigations of scientists from all over the world should be analyzed in the article. Based on the analysis of modern articles from English-language journals, the relevance of the topic in the world should be proved, the issues which need to be solved should be identified, and the purpose of the research should be formulated.

8. Tables (in Word and Excel) can be submitted both in the text of the manuscript and in separate files (on separate pages). Each table should have a title, typed in bold, and its serial number if there are several tables. The word “Table” and number are printed in italics; the title is printed in bold. Tables should be in book format and fit freely in the height and width of the journal page.

9. Figures, images and tables should be performed in Corel Draw, Origin on white paper and placed both in the text and in separate files. Captions should be typed in bold directly under the figures. Images must be clear and contrasting (TIF, JPG with a resolution of 300 dpi); the size 6×9. Photos are printed in case of extreme necessity, if they provide information of the significant scientific value.

10. Mathematical formulas should be typed with the correct placing of upper and lower indices. The formulas should be numbered by Arabic numerals in parentheses at the right margin of the page. The indices of Ukrainian abbreviated words should be typed in bold and in lower case. The first word of an index, consisting of two abbreviated words, should be followed by a dot, and the second word has no dot. The numbers in the indexes are typed in upright font. Indexes should be typed in Latin letters and in italics. In formulas, the letters of Latin alphabet are typed in italics; Greek and Ukrainian letters are in upright font.

Chemical formulas should be typed in upright font. Mathematical symbols that make up the chemical formulas should be typed in italics.

Formulas should be put directly into the text. Simple formulas are typed from the keyboard, and complex — using the Microsoft Equation 3.0 object or MathType 5.6. Other equation editors are unacceptable. The characters are inserted only through the symbol table. The contraction of physical units must comply with the rules of the International System of Units (SI).

11. Information about the authors should be given as follows: second name (in uppercase letters), first name and patronymic (in full); academic title; position or profession, place of work; phone number, E-mail.

12. The date when the manuscript was received by the editorial board.

The use of **automatic translation** for any part of your text (manuscript, abstract, keywords) **is not allowed**. Translation must be of good quality.

The absence of any item listed above; absence of abstracts; non-compliance to the design requirements; spelling, grammatical, stylistic errors; automatic translation of any part of the manuscript are the grounds **for refusal** to accept the manuscript for publication.

The author is fully responsible for compliance with current legislation, including the rules of copyright and the consistency of data (quotations, references, names, etc.).

Editorial office address:

National University of Food Technologies Volodymyrska str., 68,
building B, room 412, 01601 Kyiv, Ukraine
E-mail: npnuht@ukr.net